



**BUAP**

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación Estudios de Posgrado

**DESARROLLO DE SOFTWARE PARA EL ANALISIS  
PLANO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE  
EDIFICACIONES DE MAMPOSTERIA**

**TESIS**

Que para obtener el grado de  
**MAESTRO EN INGENIERÍA CON OPCION TERMINAL EN  
ESTRUCTURAS**

Presenta:

**ING. ELIAS ARTURO ORTIZ MORALES**

Asesor de tesis:

**MTRA. SILVIA CONTRERAS BONILLA**

Puebla, Pue.

Enero 2021



**BUAP**

Oficio No. SIEP/0884/2021

**C. Elías Arturo Ortiz Morales**

Matrícula 219470113

Pasante de la Maestría en Ingeniería

con opción terminal en Estructuras

Facultad de Ingeniería, BUAP.

Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Angel Cecilio Guerrero Zamora, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo con su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema titulado: **Desarrollo de software para el análisis plano y diseño de estructuras de mampostería**, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Estructuras, asignándose como Director al M.I. Silvia Contreras Bonilla y Codirector al M.I. Martín Castillo Flores.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Zaragoza, abril 27 de 2021.

**M.I. Angel Cecilio Guerrero Zamora**  
Director



C.c.p. M.I. Silvia Contreras Bonilla y M.I. Martín Castillo Flores, Director y Codirector del Tema de Tesis

C.c.p. Archivo

AEPS/JPHT/sco\*

**M. en I. Ángel Cecilio Guerrero Zamora**  
**Director de la Facultad de Ingeniería**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**P r e s e n t e:**

Por este medio reciba un cordial saludo, al mismo tiempo le informo que el **C. Elías Arturo Ortiz Morales matricula 219470113** alumno de la Maestría en Ingeniería con opción terminal en Estructuras ha elaborado el trabajo titulado:

**“Desarrollo de software para el análisis plano y diseño de estructuras de mampostería”**

Como tema de tesis, el cual ha sido revisado y no existe inconveniente alguno en autorizar su impresión. Lo anterior, para efectos académicos a que haya lugar.

Sin otro particular y agradeciendo su atención, quedo como su segura servidora.

ATENTAMENTE

H. Puebla de Z., a 8 de julio de 2021



M. en I. Silvia Contreras Bonilla  
Directora de Tesis

## DEDICATORIA

Todos mis logros y todo mi esfuerzo estarán siempre dedicados a las personas que no dejan de apoyarme nunca en todas mis decisiones y los retos que me pongo, quienes, con su cariño, respeto e incondicional compañía han sabido ayudarme a cumplir cada meta de mi vida, mis padres.

A mis hermanos quienes son un modelo a seguir, siempre confían en mí incluso cuando pierdo la confianza en mí mismo, siempre están para escucharme y me cuidan desde que tengo memoria.

A mi novia María Fernanda quien es el motivo de todo mi esfuerzo y mi motor, quien confía ciegamente en mí y me levanta cuando me he rendido y me recuerda la razón por la que me esfuerzo tanto día con día.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero Apolinar Cortez Sánchez quien me ha enseñado tanto como me ha sido posible aprender, por darme la oportunidad de prepararme cada día más para cumplir mis metas y seguir creciendo tanto personal como profesionalmente.

A la maestra Silvia Contreras Bonilla quien me asesoró en el desarrollo del trabajo de tesis.

Al Ingeniero Cesar Daniel Ortiz Morales quien me apoyo con mis deberes profesionales con la finalidad de liberarme tiempo para dedicarle a mis estudios.

Al ingeniero Alejandro Flores Martínez quien brindo su apoyo y asesoría en cada duda y problema que se me presento en el desarrollo de este trabajo, gracias por su tiempo y paciencia.

A mis maestros del posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla quienes impartieron las materias siempre con la mejor intención de transmitirnos conocimientos de utilidad en el campo laboral.

## INDICE

INTRODUCCION .....	XV
CAPITULO 1. ANTECEDENTES .....	17
1.1. Breve historia de las estructuras. ....	17
1.2. Materiales y comportamiento mecánico de la mampostería. ....	21
1.3. Herramientas informáticas para el análisis y diseño estructural en la actualidad .....	28
CAPITULO 2. PRINCIPALES METODOS DE ANALISIS SISMICO .....	33
2.1. Método dinámico modal espectral.....	33
2.2. Método estático.....	38
CAPITULO 3. METODOS Y NORMATIVA PARA EL ANALISIS Y DISEÑO DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERIA. ....	44
3.1. Método de elementos finitos .....	44
3.2. Método de columna ancha .....	54
3.3. Método del muro en voladizo para un análisis plano.....	61
3.3.1. Cortante directo .....	63
3.3.2. Análisis por torsión .....	63
3.4. Normas técnicas complementarias para el diseño de estructuras de mampostería de la ciudad de México (NTC-17) .....	78
CAPITULO 4. PROGRAMA EN C# .....	92
4.1. Interfaz principal.....	92
4.2. Definición de la estructura.....	94
4.3. Análisis de carga.....	96
4.4. Análisis sísmico .....	101
4.5. Repartición de fuerzas sísmicas .....	102
4.6. Diseño estructural .....	104
4.7. Exportar reporte .....	106
4.8. Comparación de resultados .....	108

CONCLUSIONES .....	138
RECOMENDACIONES .....	140
BIBLIOGRAFÍA .....	141
REFERENCIAS .....	144

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Cronología de estructuras en el periodo neolítico (Dander, 2012). .....	18
Figura 1.2 Patentes de sistema de concreto armado (Christophe, 1912). .....	19
Figura 1.3 Curva esfuerzo-deformación de la mampostería (DEPFI-UNAM, 2006). .....	26
Figura 1.4. Hoja de cálculo para diseño de zapatas corridas (Autoría propia, 2017). .....	29
Figura 1.5 ETABS, programa comercial de análisis y diseño estructural (CSI, 2020). .....	29
Figura 1.6. Modelo de análisis plano con el uso del ANEM (GC INGENIERIA, 2019). .....	30
Figura 1.7 Modelo de marcos rígidos con el uso del ECO (GC INGENIERIA, 2019). .....	30
Figura 1.8 Modelo de elementos finitos con el uso del SAP2000 (CSI, 2010). .....	31
Figura 1.9. Hoja de cálculo para análisis plano de estructuras de mampostería (Autoría propia, 2020). .....	32
Figura 2.1 Estructura con excitación en la base (Martínez, 2013). .....	33
Figura 2.2 Forma modal de una estructura (Martínez, 2013). .....	35
Figura 2.3 Desplazamientos de las masas de una estructura de varios GDL (Martínez, 2013). .....	35
Figura 2.4 Espectro de diseño (NTC-DS, 2004) .....	38
Figura 2.5 Fuerzas generadas por el desplazamiento lateral en grados de libertad (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019) .....	40
Figura 3.1 Elemento 2D cuadrangular para esfuerzos planos (S. Gokhale, 2008)	46
Figura 3.2 Elemento 2D cuadrangular para deformaciones planas (S. Gokhale, 2008). .....	47
Figura 3.3 Elemento 2D cuadrangular tipo placa (S. Gokhale, 2008) .....	48
Figura 3.4 Elemento 2D cuadrangular tipo membrana (S. Gokhale, 2008) .....	48
Figura 3.5 Elemento 2D cuadrangular tipo cascaron (S. Gokhale, 2008) .....	49
Figura 3.6 Tipos de elementos 3D (S. Gokhale, 2008) .....	50

Figura 3.7 Modelo de muro con elementos finitos (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017) .....	52
Figura 3.8 Distintos modelos con elemento finito (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019).....	53
Figura 3.9 Ancho equivalente en losas (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017).....	55
Figura 3.10 Ancho efectivo del patín a compresión en muros para análisis a base de marcos planos (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017).....	56
Figura 3.11 Muro modelado con columna ancha (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019).....	56
Figura 3.12 Modelo de un muro en voladizo con 1 barra (a) y 2 barras (b) (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019) .....	58
Figura 3.13 Modelo de prueba (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019).....	59
Figura 3.14 Distintos modelos de columna ancha (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019) .....	60
Figura 3.15 Flexión de un elemento en voladizo (Sarcos Portillo, A. Delgado, & Legl García, 2005) .....	61
Figura 3.16 Distribución de fuerzas laterales en planta (Tena Colunga, Cano Licona, López Blancas, & Pérez Osornio, 2010) .....	62
Figura 3.17 Elemento resistente de un entrepiso con un giro $\theta$ (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019) .....	64
Figura 3.18 Posibles movimientos de un sistema en función de una fuerza y el centro de masas (A. Serway & W. Jewett, 2008) .....	67
Figura 3.19 Ubicación del centro de torsión (Meli Piralla, 2015) .....	69
Figura 3.20 Centro de cortante y centro de rigidez (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019) .....	71
Figura 3.21 Modelo analítico para muros de mampostería (Gavilán Pérez, 2011) 71	
Figura 3.22 Clasificación de muros para determinar la excentricidad de diseño más desfavorable (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019) .....	76

Figura 3.23 Excentricidad de la carga vertical en muros extremos (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017).....	83
Figura 3.24 Requisitos de mampostería confinada (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017) .....	84
Figura 3.25 Castillos y dalas (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017) .....	85
Figura 3.26 Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante resistente de diseño con el método optativo (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017)	87
Figura 4.1 Animación de espera. Fuente: Autoría propia (2021) .....	92
Figura 4.2 Pantalla de "Definición general" (Pantalla inicial). Fuente: Autoría propia (2021) .....	93
Figura 4.3 Botones para crear o importar proyectos. Fuente: Autoría propia (2021) .....	93
Figura 4.4 Definición de la estructura. Fuente: Autoría propia (2021).....	94
Figura 4.5 Ventana de registro de muros. Fuente: Autoría propia (2021) .....	95
Figura 4.6 Sección de "Detalle de la estructura". Fuente: Autoría propia (2021) ..	96
Figura 4.7 Análisis de carga. Fuente: Autoría propia (2021).....	97
Figura 4.8 Análisis de carga para losa reforzada de entrepiso. Fuente: Autoría propia (2021).....	98
Figura 4.9 Análisis de carga para losa reforzada de azotea. Fuente: Autoría propia (2021) .....	98
Figura 4.10 Análisis de carga de losa nervada de entrepiso. Fuente: Autoría propia (2021) .....	99
Figura 4.11 Análisis de carga de losa nervada de azotea. Fuente: Autoría propia (2021) .....	99
Figura 4.12 Análisis de carga de losa de vigueta y bovedilla de entrepiso. Fuente: Autoría propia (2021) .....	100
Figura 4.13 Análisis de losa de vigueta y bovedilla de azotea. Fuente: Autoría propia (2021).....	100
Figura 4.14 Análisis de carga de otro tipo de sistema de piso. Fuente: Autoría propia (2021).....	101
Figura 4.15 Análisis sísmico. Fuente: Autoría propia (2021) .....	102

Figura 4.16 Repartición de fuerzas sísmicas. Fuente: Autoría propia (2021) .....	103
Figura 4.17 Información de muros por nivel en la repartición de fuerzas sísmicas. Fuente: Autoría propia (2021) .....	103
Figura 4.18 Diseño estructural. Fuente: Autoría propia (2021) .....	104
Figura 4.19 Información de diseño estructural de cada elemento resistente. Fuente: Autoría propia (2021) .....	105
Figura 4.20 Diagrama de interacción de muros. Fuente: Autoría propia (2021) .	105
Figura 4.21 Exportar documento. Fuente: Autoría propia (2021).....	106
Figura 4.22 Configuración del reporte. Fuente: Autoría propia (2021).....	107
Figura 4.23 Planta baja arquitectónica. Fuente: Análisis y diseño estructural (2021) .....	110
Figura 4.24 Planta arquitectónica de primer y segundo nivel. Fuente: Análisis y diseño estructural (2021) .....	111
Figura 4.25 Planta arquitectónica de azotea. Fuente: Análisis y diseño estructural (2021) .....	112
Figura 4.26 Áreas tributarias de muros. Fuente: Análisis y diseño estructural (2021) .....	113
Figura 4.27 Comparación de análisis de cargas. Fuente: Autoría propia (2021)	114
Figura 4.28 Comparación de datos de muros. Fuente: Autoría propia (2021) ....	115
Figura 4.29 Parámetros del espectro de diseño. Fuente: Autoría propia (2021).	116
Figura 4.30 Espectro de diseño. Fuente: Autoría propia (2021) .....	116
Figura 4.31 Comparación análisis método dinámico. Fuente: Autoría propia (2021) .....	121
Figura 4.32 Comparación de centros, excentricidades y torsión de entrepiso. Fuente: Autoría propia (2021) .....	123
Figura 4.33 Distribución de fuerzas sísmicas en elementos resistentes de nivel 1 de forma tradicional. Fuente: Autoría propia (2021) .....	125
Figura 4.34 Distribución de fuerzas sísmicas en elementos resistentes del nivel 1 con uso del software. Fuente: Autoría propia (2021).....	126
Figura 4.35 Distribución de fuerzas sísmicas elementos resistentes de nivel 2 de manera tradicional. Fuente: Autoría propia (2021) .....	127

Figura 4.36 Distribución de fuerzas sísmicas elementos resistentes de nivel 2 con el uso del software. Fuente: Autoría propia (2021) .....	128
Figura 4.37 Distribución de fuerzas sísmicas elementos resistentes de nivel 3 de manera tradicional. Fuente: Autoría propia (2021) .....	129
Figura 4.38 Distribución de fuerzas sísmicas elementos resistentes de nivel 3 con el uso del software. Fuente: Autoría propia (2021) .....	130
Figura 4.39 Diseño de muros de nivel 1 de manera tradicional. Fuente: Autoría propia (2021).....	132
Figura 4.40 Diseño de muros de nivel 2 de manera tradicional. Fuente: Autoría propia (2021).....	133
Figura 4.41 Diseño de muros de nivel 3 de manera tradicional. Fuente: Autoría propia (2021).....	134
Figura 4.42 Reporte de resultado de diseño estructural (parte 1). Fuente: Autoría propia (2021).....	135
Figura 4.43 Reporte de resultado de diseño estructural (parte 2). Fuente: Autoría propia (2021).....	136
Figura 4.44 Comparación de diagrama de interacción para diseño a flexocompresión de muros. Fuente: Autoría propia (2021) .....	136
Figura 4.45 Comparación de cortantes de entrepiso. Fuente: Autoría propia (2021) .....	137

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Peso volumétrico neto mínimo de piezas, en estado seco (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017).....	22
Tabla 1.2 Valores mínimos permitidos de $f_p$ (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017). .....	23
Tabla 1.3 Tipos de mortero y resistencia de diseño a compresión (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019). .....	23
Tabla 1.4 Resistencia a la compresión de la mampostería $f_m$ (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017). .....	24
Tabla 1.5 Módulo de elasticidad de la mampostería (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017). .....	26
Tabla 3.1 Errores relativos de fuerza cortante con distintos modelos de elemento finito (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019).....	53
Tabla 3.2 Errores relativos de fuerza cortante con distintos modelos de columna ancha (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019).....	60
Tabla 3.3 Factores de resistencia para mampostería (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017) .....	78
Tabla 3.4 Factor de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería (Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo, 2017).....	81

## **RESUMEN**

Los softwares de diseño estructural comerciales son la principal herramienta hoy en día para realizar estos procedimientos sin requerir una cantidad de tiempo excesiva, sin embargo, estos mismos suelen estar divididos en diferentes módulos, que usualmente, se encuentran desligados uno de otro, también son altamente avanzados, lo cual puede dificultar su uso académico en la enseñanza de los métodos de diseño estructural; otro problema es su alto costo en el mercado; debido a esto se propone una herramienta digital que sirva de apoyo tanto profesional como académicamente. En el presente trabajo se describe la propuesta de elaboración y aplicación de un software de análisis y diseño estructural para edificaciones a base de muros de carga, con el fin de apoyar la labor del ingeniero estructurista; así como, siendo una herramienta didáctica para los alumnos del nivel de licenciatura y maestría en el área de las estructuras, en específico el tema de la mampostería. El programa se desarrolla en lenguaje C# aprovechando las ventajas de la programación orientada a objetos.

## **ABSTRACT**

Commercial structural design softwares are the main tool today to perform these procedures without requiring an excessive amount of time, however, they are usually divided into different modules, which are usually separated from each other, they are also highly advanced which can hinder its academic use in the teaching of structural design methods; Another problem is its high cost in the market; Due to this, a digital tool is proposed to serve as support both professionally and academically. This paper describes the proposal for the elaboration and application of a structural analysis and design software for buildings based on load-bearing walls, in order to support the work of the structural engineer; as well as, being a didactic tool for undergraduate and master's level students in the area of structures, specifically the subject of masonry. The program is developed in C # language taking advantage of object-oriented programming.

## **INTRODUCCION**

En tiempos anteriores y posiblemente actuales los procesos y métodos de cálculo de diversas estructuras requieren de una considerable cantidad de tiempo por parte de los ingenieros responsables del proyecto estructural; esta labor se ha complicado con el paso de los años pues las exigencias de las normas y las mismas condiciones de materiales, acciones accidentales y de servicio han cambiado en pro de la integridad estructural, la economía y la adaptación a las nuevas tecnologías, tanto en procesos constructivos como en los procesos mismos de cálculo.

Estas exigencias son un nuevo reto para los profesionales del diseño estructural ya que los procedimientos son más complejos haciendo imposible llevar a cabo un diseño estructural completo de forma tradicional con las normas actuales, cumpliendo con todos los requerimientos que estas solicitan en un tiempo de diseño competitivo, por lo que, se requieren herramientas cada vez más complejas para cumplir dichas expectativas.

Específicamente las estructuras de mampostería a base de muros de carga son edificaciones de gran uso y muy comunes en el día a día del profesional en diseño estructural, sin embargo el análisis y diseño de estos cuerpos suele ser un procedimiento laborioso debido a las asimetrías y las distribuciones de los elementos estructurales, otro reto es la heterogeneidad de los materiales y geometrías de los muros de carga pues la variedad en las rigideces de cada elemento requiere un análisis más especializado referente a los centros de masa y centros de torsión.

En este trabajo se planteara el desarrollo de un software de diseño capaz de realizar estas consideraciones en estructuras de mampostería a base de muros de carga, analizar y diseñar conforme a las normas actuales, obteniendo de manera satisfactoria resultados precisos y en un tiempo considerablemente menor al método manual de diseño, manteniendo todas las variables dependientes ligadas permitiendo, así realizar ajustes de ser necesario debido a cambios arquitectónicos, exigencias constructivas u otras situaciones imprevistas, sin

perder la veracidad de los cálculos ni el tiempo de rediseño, y ni restringir el criterio del profesional, también permitirá la transparencia en la interpretación de resultados y la enseñanza académica de los procedimientos de diseño.

El presente trabajo está conformado por cuatro capítulos desarrollados; el primero consta de los antecedentes del diseño estructural desde la prehistoria hasta nuestros tiempos; en el segundo capítulo se describen los principales métodos de análisis sísmico utilizados en la actualidad; en el tercero se detallan 3 de los métodos de análisis y diseño utilizados para las estructuras a base de muros de carga de mampostería y las normas que rigen dichos métodos en el país; finalmente, en el cuarto capítulo se muestra el software propuesto para la solución de estructuras de este tipo.

# CAPITULO 1. ANTECEDENTES

En paso de los años el hombre ha tenido la necesidad de protegerse del entorno en el que vive, siendo la razón por la cual se crearon las estructuras, las cuales han sido de distintos materiales, siendo la mampostería uno de los más utilizados por sus características y disponibilidad.

En este capítulo se presentarán los conceptos y precedentes históricos relacionados con el análisis y el diseño estructural de edificaciones de mampostería de vital importancia para la automatización del procedimiento de diseño.

## **1.1. Breve historia de las estructuras.**

Una estructura se puede definir como un sistema de un conjunto de elementos que se combinan de forma ordenada para cumplir una determinada función. (Meli Piralla, 2015)

Desde la aparición de los primeros pobladores en el periodo neolítico (10,000 a.C.) surgió la importante necesidad de protegerse de la intemperie y de los depredadores siendo la solución el uso formaciones rocosas naturales como refugio, sin embargo, al ser nómadas dependían del hallazgo de nuevas cuevas en su camino para refugiarse. (Dander Sánchez, 2012).

Al volverse sedentarios comienzan a desarrollar técnicas para hacer las primeras construcciones artificiales utilizando materiales como madera, ramas, pieles de animales, entre otros. Con el paso de los años y la extensión y evolución de la humanidad, las construcciones y las técnicas para desarrollar las mismas también se vieron impulsadas. Aproximadamente en el año 4800 a.C. se comenzaron a utilizar megalitos como elementos para construcciones de diversos usos ya no solamente con el fin de protegerse, sino también de almacenamiento de recursos. Algunos ejemplos se pueden apreciar en la figura 1.1.

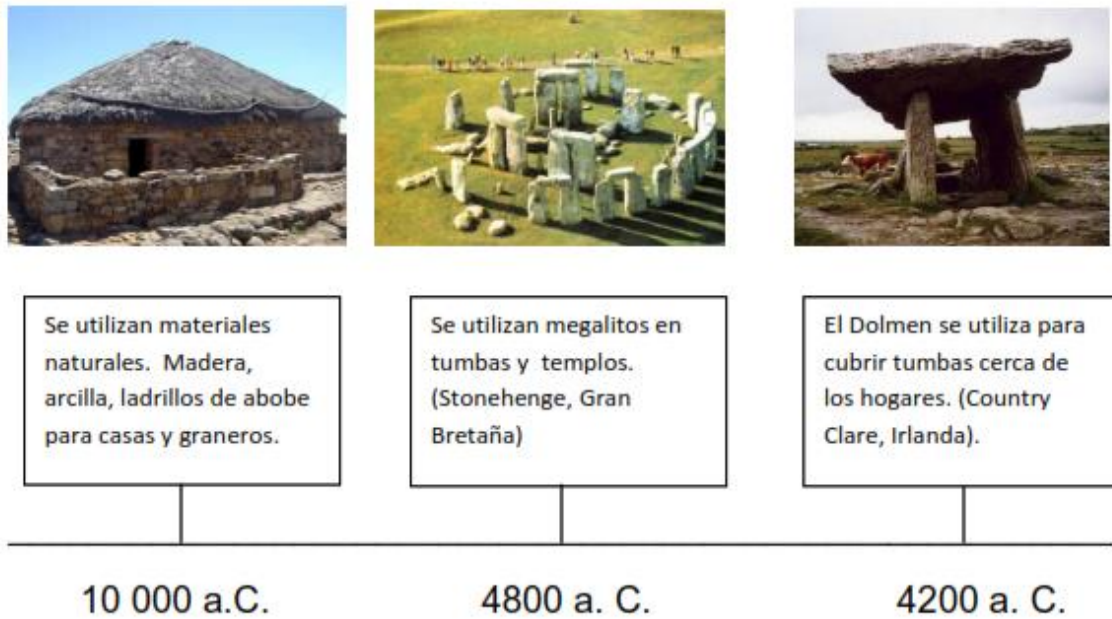


Figura 1.1 Cronología de estructuras en el periodo neolítico (Dander, 2012).

Durante la época preclásica (2000 a.C. – 250 d.C.) se establecieron civilizaciones como la cultura maya, los cuales hacían uso principalmente de la roca como un elemento para las diversas estructuras construidas principalmente usando una técnica simple de colocación y labrados de las piedras de su alrededor. La tecnología utilizada por estas culturas no era muy distinta de la utilizada en el periodo neolítico, sin embargo, si lo era su uso y conocimientos acerca de las mismas.

Fue hasta el año 432 a. C. que las construcciones comenzaron a tomar una forma más similar a la actual, siendo un ejemplo de esto las estructuras clásicas ubicadas en ciudades como Roma y Grecia, las cuales implicaban una mayor comprensión del comportamiento de las mismas y de las características de los materiales utilizados. La piedra, arcilla y otros materiales continuaron siendo los más utilizados en estas edificaciones debido a su perpetuidad y resistencia; así mismo se construyeron arcos, columnas y cúpulas como elementos de las estructuras. Utilizaban técnicas de junteado de piezas (mampostería) mediante una mezcla de cal y arena para formar un tipo de mortero.

Perdiéndose dichas técnicas con el paso del tiempo alrededor del siglo IX y lográndose recuperar con éxito hasta el siglo XVII.

Pero no fue sino hasta el siglo XVIII con la aparición del primer ingeniero civil moderno, Jhon Smeaton, ingeniero ingles que logra desarrollar el primer cemento, siendo así las primeras apariciones del concreto.

En el siglo XIX se implementó por primera vez el uso de concreto armado, utilizando acero como material de refuerzo para el concreto, siendo aplicado por Joseph-Luis Lambot, quien creó el primer barco de concreto armado en 1848, cuyos sistemas se patentaron en el año de 1912 (ver figura 1.2).

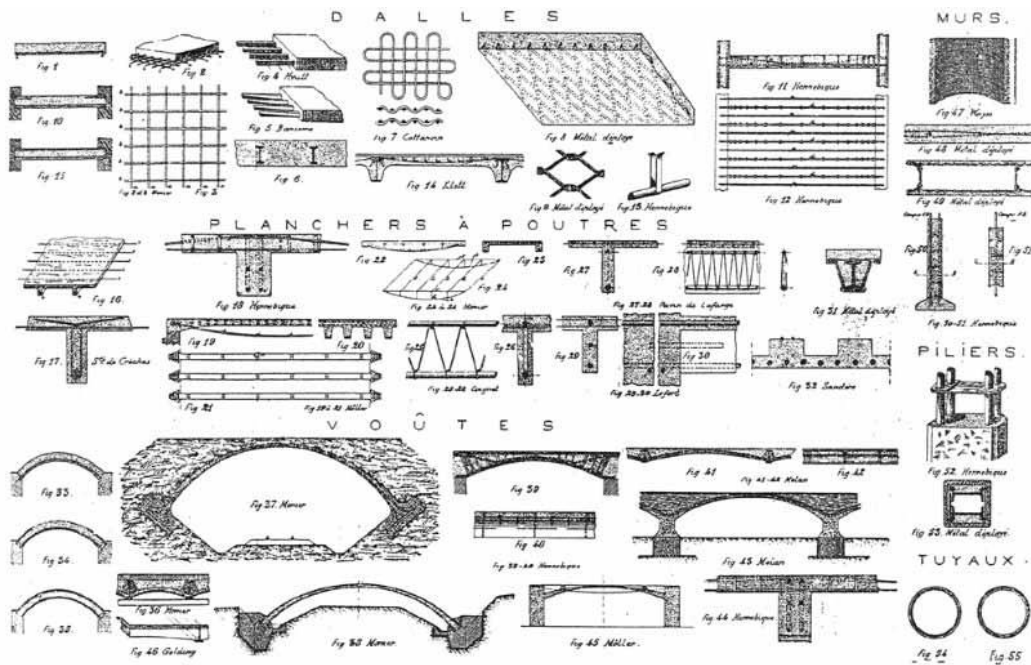


Figura 1.2 Patentes de sistema de concreto armado (Christophe, 1912).

En el año 1867 se hacen las primeras losas de concreto armado como las conocemos actualmente y a finales del siglo se construye el primer puente haciendo uso de estos materiales.

El metal a pesar de ser un material utilizado en la construcción desde la edad de bronce, este era hierro y usado en su mayor parte de forma ornamental, aunque

se tienen datos del siglo V en Roma de una armadura metálica de hierro forjado para la entrada al Panteón de Roma.

No fue hasta el año 1851 en Londres cuando Josephe Paxton se encargó de construir el Palacio de Cristal para albergar a diversas naciones que participarían en la primera competencia de construcción que se llevaría a cabo en la misma ciudad. Esta obra representa un hito en la construcción por su solución estructural, los procesos de prefabricación, armado y desarmado de los elementos, además de establecer una relación novedosa entre los medios técnicos y los fines expresivos del edificio.

Después de la revolución industrial el costo de la fabricación e implementación del acero en las construcciones se redujo significativamente, además del avance tecnológico y la sustitución del hierro por el acero, hicieron viable su uso como solución a retos estructurales los cuales otros materiales y técnicas no eran una respuesta adecuada.

En la actualidad existen una gran variedad, sin embargo, los sistemas estructurales siguen manteniéndose en función del material disponible, siendo los siguientes los más utilizados:

- Concreto armado
- Acero estructural
- Mampostería

Este trabajo se centrará en el material de mayor uso en estructuras comunes y simples como casas habitación, edificios de departamentos, edificios de oficinas, entre otros; las piezas de mampostería.

## **1.2. Materiales y comportamiento mecánico de la mampostería.**

La mampostería es un sistema estructural de piezas individuales de origen pétreo, unidas entre sí por un mortero aglutinante.

Dicha unión se conforma comúnmente de los siguientes materiales:

- Piezas
- Morteros
- Concreto de relleno
- Acero de refuerzo

Las piezas para la mampostería pueden ser naturales o artificiales, siendo las artificiales las fabricadas por la mano del ser humano y las naturales las piedras y canteras en su estado primitivo.

Las piezas artificiales así mismo pueden clasificarse según su manufactura: Artesanal o industrializada. También pueden clasificarse según su material, siendo, de acuerdo con (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019), el concreto y la arcilla los más utilizados.

Los morteros son los materiales aglutinantes cuya función es unir las piezas de mampostería para garantizar un solo elemento estructural a pesar de estar formado por distintas piezas y materiales. Los morteros para uso estructural se clasifican en 3: Tipo I, Tipo II y Tipo III de acuerdo a la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 cuyas diferencias radican en su dosificación y por lo tanto en su resistencia a la compresión.

El concreto de relleno es un concreto hidráulico con consistencia fluida cuyo fin es rellenar las cavidades entre las piezas huecas de la mampostería.

El acero de refuerzo a diferencia del acero utilizado en los elementos de concreto suele ser de mayor resistencia y estiradas en frío durante su fabricación, siendo diámetros tan pequeños como 4 mm o bien el uso de acero electrosoldado como en el caso de los elementos prefabricados para castillos.

- **Peso volumétrico de las piezas**

El peso volumétrico es la razón del peso de un material por unidad de volumen del mismo.

Las piezas deben cumplir con un peso volumétrico neto mínimo de acuerdo a la norma NMX-C-404-ONNCE.

En la tabla 1.1 se muestran los valores mínimos del peso volumétrico según (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017) las piezas utilizadas para la mampostería deben poseer:

<b>Peso volumétrico neto mínimo</b>	
<b>TIPO DE PIEZA</b>	<b>VALORES EN KG/M<sup>3</sup></b>
<b>Tabique macizo de arcilla artesanal</b>	1300
<b>Tabique hueco de arcilla extruida o prensada</b>	1700
<b>Bloque de concreto</b>	1700
<b>Tabique macizo de concreto</b>	1500

Tabla 1.1 Peso volumétrico neto mínimo de piezas, en estado seco (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017).

En este documento estos son los valores que se utilizarán por ser los mínimos especificados.

- **Resistencia a la compresión de las piezas**

La resistencia a la compresión es la máxima carga axial aplicada gradualmente a un elemento al momento de su ruptura. (L. Singer, 1982)

La resistencia a compresión de las piezas debe ser obtenida mediante pruebas de laboratorio de acuerdo a lo indicado en la norma NMX-C-036-ONNCE y cuyo valor de diseño será el obtenido por la siguiente ecuación de acuerdo con (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017).

$$f'_p = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5C_p} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Sin embargo, debido a la poca disponibilidad de estos datos por motivo de costo tiempo para dichas pruebas en cada proyecto, las mismas Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería proporciona los valores mínimos de la resistencia a compresión de las piezas (tabla 1.2).

Valores mínimos permitidos de $f'_p$ neto mínimo	
TIPO DE PIEZA	$f'_p$ KG/M3
Tabique macizo de arcilla artesanal	60
Tabique macizo o multiperforado de arcilla o concreto	100
Tabique hueco de arcilla o concreto	60
Bloque macizo o multiperforado de arcilla o concreto	100
Bloque hueco de arcilla o de concreto	60

Tabla 1.2 Valores mínimos permitidos de  $f'_p$  (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017).

- **Resistencia a la compresión del mortero**

La resistencia a compresión es obtenida mediante pruebas de laboratorio indicadas en la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, sin embargo, la misma permite utilizar los valores mínimos para efectos de diseño presentados en la tabla 1.3:

Tipos de mortero y resistencia de diseño a compresión		
Tipo de mortero	Resistencia a la compresión $\bar{f}_f$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia mínima a la compresión $f_{jmin}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
I	180	125
II	110	75
III	60	40

Tabla 1.3 Tipos de mortero y resistencia de diseño a compresión (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019).

- **Resistencia a la compresión de la mampostería**

La resistencia a la compresión de la mampostería es obtenida mediante el ensaye de pilas formadas por lo menos con 3 piezas según como lo marca la norma NMX-C-464-ONNCCE. A partir de los resultados de la prueba, se puede obtener la resistencia a compresión de diseño de la mampostería mediante la siguiente ecuación:

$$f'_m = \frac{\overline{f}_m}{1 + 2.5C_m} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Así mismo las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería permiten el uso de valores mínimos de resistencia a la compresión en función del tipo de pieza (tabla 1.4).

Resistencia a la compresión de la mampostería $f'_m$	
Tipo de pieza	$f'_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Tabique macizo de arcilla artesanal	15
Tabique de arcilla extruido	20
Bloque de concreto	15
Tabique de concreto	15

Tabla 1.4 Resistencia a la compresión de la mampostería  $f'_m$  (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017).

- **Resistencia a la compresión diagonal de la mampostería**

Los muros de mampostería pueden estar sujetos a esfuerzos cortantes por tensión diagonal. Por lo cual es necesario simular este estado de esfuerzos aplicando esfuerzos de compresión en las esquinas de un muro reflejando así una falla caracterizada por fisuras sensiblemente diagonales en el plano del muro (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019).

La resistencia a la compresión diagonal de la mampostería  $v'_m$  para diseño se obtiene mediante el ensaye de muretes de mampostería de acuerdo a la norma NMX-C-464-ONNCCE y la ecuación:

$$v'_m = \frac{\overline{v_m}}{1 + 2.5C_v} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Dada la dificultad de realizar la prueba pertinente la norma permite utilizar el valor de  $v'_m=2 \text{ kg/cm}^2$ .

- **Resistencia al aplastamiento**

Las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería limitan este valor a  $0.6f'_m$ .

- **Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad es una constante de proporcionalidad de un material. Este módulo es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación (Timoshenko & M. Gere, 1972).

Se ha propuesto determinar el módulo de elasticidad como la pendiente de una recta secante (ONNCCE, 2010) definida por la ecuación:

$$E_m = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde  $\sigma_1$  es el esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria igual a 0.00005,  $\sigma_2$  es el esfuerzo correspondiente a 40% de la resistencia en compresión y  $\varepsilon_2$  es la deformación unitaria correspondiente a  $\sigma_2$ . (Figura 1.3)

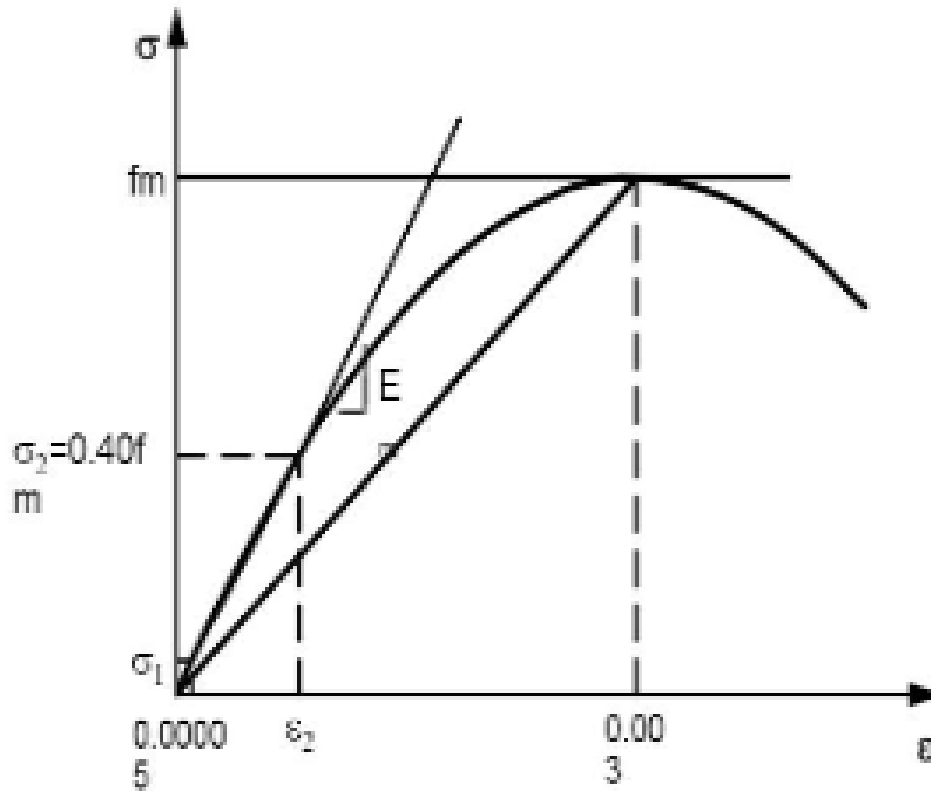


Figura 1.3 Curva esfuerzo-deformación de la mampostería (DEPFI-UNAM, 2006).

Las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería permiten suponer este valor en función de la resistencia a compresión de la mampostería de acuerdo a la tabla 1.5:

Módulo de elasticidad de la mampostería		
Tipo de piezas	Cargas de corta duración	Cargas sostenidas
Tabiques y bloques de concreto	$800f'_m$	$350f'_m$
Tabique de arcilla y otras piezas, excepto las de concreto	$6000f'_m$	$350f'_m$

Tabla 1.5 Módulo de elasticidad de la mampostería (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017).

- **Módulo de cortante**

El módulo de cortante es la relación lineal entre la distorsión en un cuerpo y el esfuerzo cortante aplicado que la provoca, suponiendo que la ley de Hooke es válida en cortante (L. Singer, 1982).

Las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería permiten suponer un valor para el módulo de cortante en función del módulo de elasticidad de la mampostería de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$G_m = 0.2E_m \quad \text{Ecuación 1.5}$$

### **Hipótesis básica del comportamiento de la mampostería**

Para efectos de diseño los modelos matemáticos que estiman los valores resistentes de los elementos estructurales se deben tener en cuenta las hipótesis que se adoptaron para determinar dichas expresiones, estas hipótesis son las siguientes:

- Se considera la mampostería como un material homogéneo.
- La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento de mampostería es plana.
- La mampostería al igual que el concreto no resiste tensiones o bien su resistencia a la tensión es despreciable.
- Existe adherencia perfecta entre todos los elementos de la mampostería.
- La sección falla a una deformación máxima a compresión igual a 0.003.
- El comportamiento de la mampostería se considerará elástico lineal hasta la falla.

### **1.3. Herramientas informáticas para el análisis y diseño estructural en la actualidad**

De acuerdo con S. Pressman en el 2010, las herramientas informáticas son programas, aplicaciones o simplemente instrucciones para efectuar tareas de modo más sencillo.

La aplicación de métodos cuantitativos en el proceso del diseño estructural data de hace poco más de un siglo, se han diseñado estructuras revisando en forma más o menos completa los esfuerzos en sus miembros (Meli Piralla, 2015).

Los métodos analíticos han tenido un amplio desarrollo en las últimas décadas que incluyen análisis refinados considerando numerosas variables, produciendo entonces, resultados más aproximados a la realidad, sin embargo, esto hizo los procedimientos más complejos y extensos pues requería la solución a grandes sistemas de ecuaciones que requerían una inversión de tiempo que podía abarcar hasta semanas con métodos manuales.

Con la implementación de las computadoras durante la década de los 70's en el análisis estructural surgieron diversas herramientas informáticas desde sencillas hasta complejas para la solución a la problemática del tiempo.

En la actualidad existen 2 principales herramientas informáticas que auxilian al ingeniero diseñador en su labor:

- Hojas de cálculo. Usualmente hechas por el usuario mismo con un fin específico (figura 1.4).

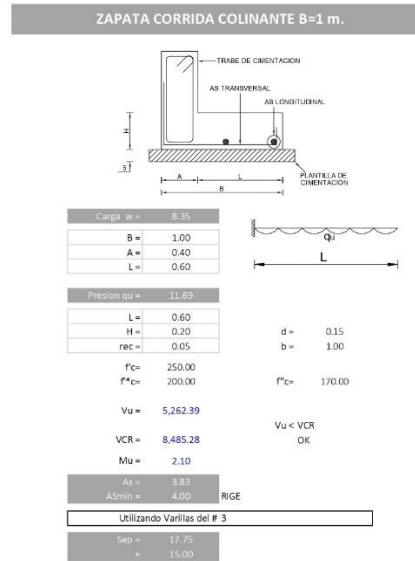


Figura 1.4. Hoja de cálculo para diseño de zapatas corridas (Autoría propia, 2017).

- Software de análisis y diseño estructural. Usualmente creado por una persona o empresa comercial (figura 1.5).



Figura 1.5 ETABS, programa comercial de análisis y diseño estructural (CSI, 2020).

En lo que respecta al diseño de estructuras de mampostería específicamente existen algunos ejemplos de softwares capaces de realizar el análisis dependiendo del método deseado de análisis.

Para un análisis plano un ejemplo es el software comercial ANEM de la empresa mexicana GC INGENIERIA Y DISEÑO S.C (figura 1.6).

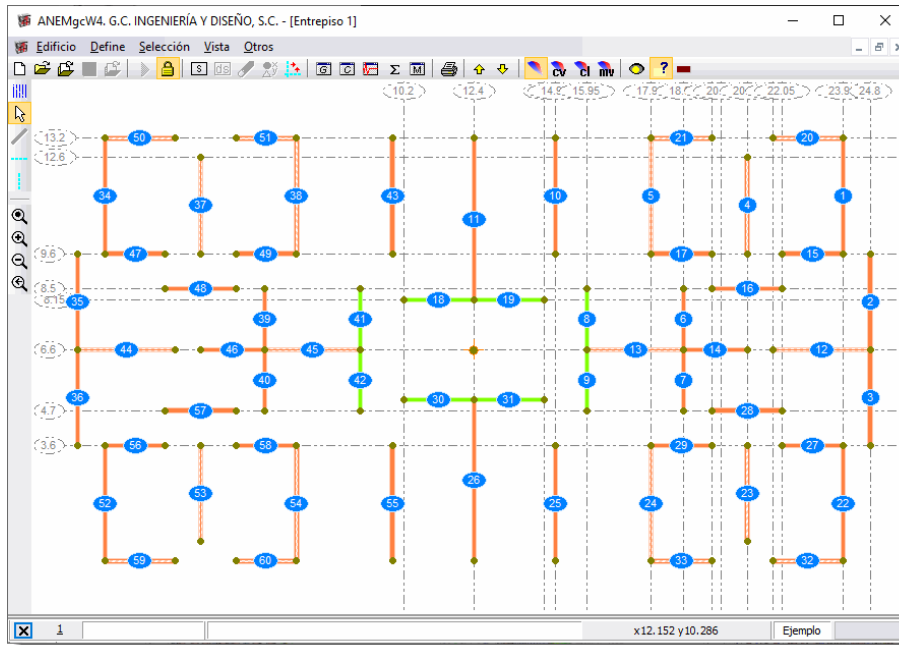


Figura 1.6. Modelo de análisis plano con el uso del ANEM (GC INGENIERIA, 2019).

Un análisis mediante columnas anchas puede realizarse mediante soluciones matriciales por el método de rigideces, un ejemplo capaz de dicho análisis es el software comercial ECO de la empresa mexicana GC INGENIERIA Y DISEÑO S.C (figura 1.7).

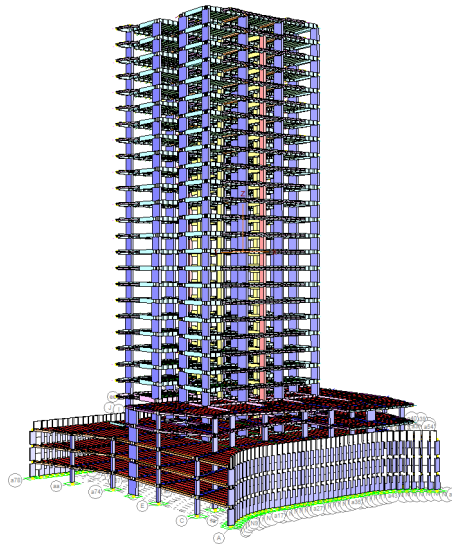


Figura 1.7 Modelo de marcos rígidos con el uso del ECO (GC INGENIERIA, 2019).

Para un análisis más refinado haciendo uso de elementos finitos son necesarias herramientas más sofisticadas, un ejemplo de ello es el software comercial SAP2000 (figura 1.8).

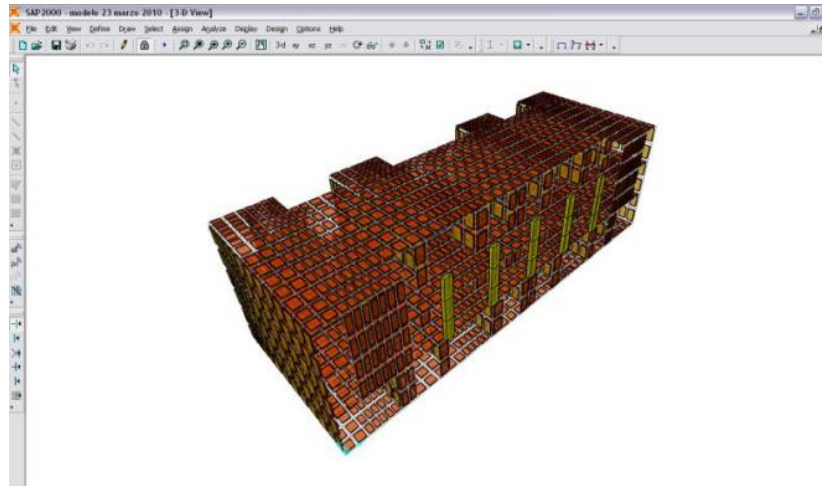


Figura 1.8 Modelo de elementos finitos con el uso del SAP2000 (CSI, 2010).

En este documento se desarrollará un software capaz de realizar un análisis plano de una estructura a base de muros de carga, cuyo fin es favorecer el ámbito laboral; como herramienta para reducir tiempo e incrementar el alcance del análisis y diseño estructural en edificaciones de este tipo; y la enseñanza, aumentando la comprensión de este tema y permitiendo enfocarse en otros que requieran mayor tiempo, para ello se tiene como precedente comparativo el software comercial ANEM de la empresa mexicana GC INGENIERIA Y DISEÑO S.C. y como base una hoja de cálculo funcional de autoría propia cuya apariencia se muestra en la figura 1.9.

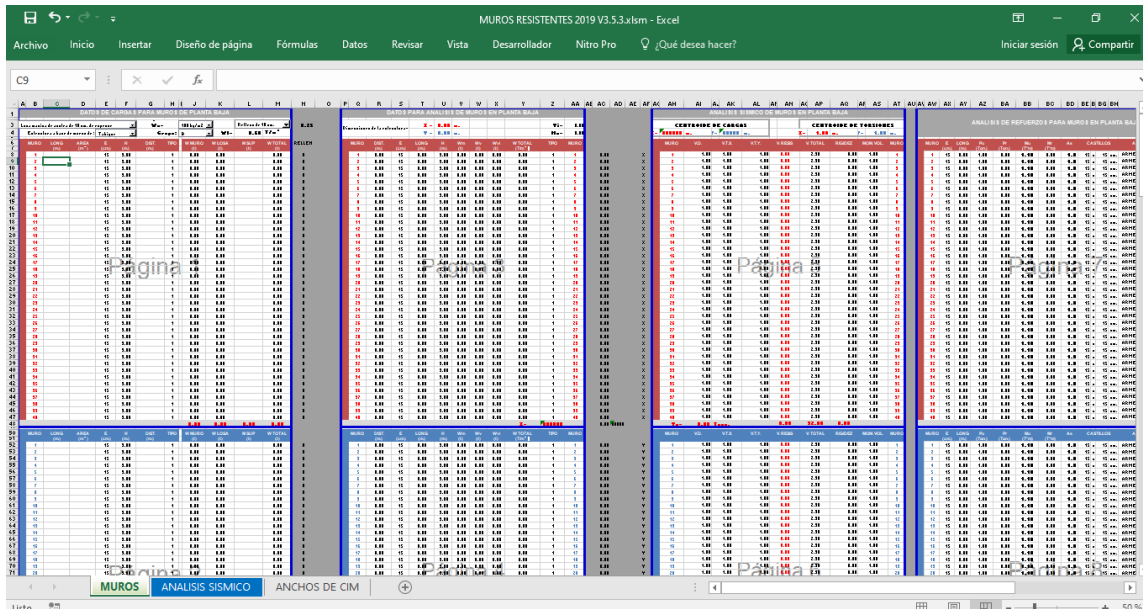


Figura 1.9. Hoja de cálculo para análisis plano de estructuras de mampostería (Autoría propia, 2020).

Desde los inicios del diseño estructural uno de los mayores retos han sido los movimientos sísmicos del terreno y sus efectos, pues han producido daños severos en las estructuras e incluso pérdida de vidas humanas, pero con el conocimiento de las propiedades de los materiales, el avance científico que se ha alcanzado en la actualidad y el desarrollo de herramientas que faciliten esta labor, se ha logrado establecer métodos más sencillos y rápidos para considerar esta variable, como los mostrados en el siguiente capítulo.

## CAPITULO 2. PRINCIPALES METODOS DE ANALISIS SISMICO

Las estructuras son afectadas por distintas acciones durante su vida útil, por lo que es necesario tomar en cuenta dichas solicitudes y los efectos de las mismas en el cuerpo; un ejemplo importante son las aceleraciones en la base producidas por sismos las cuales provocan reacciones inerciales o fuerzas ficticias en cada nivel de la estructura como se muestra en la figura 2.1.

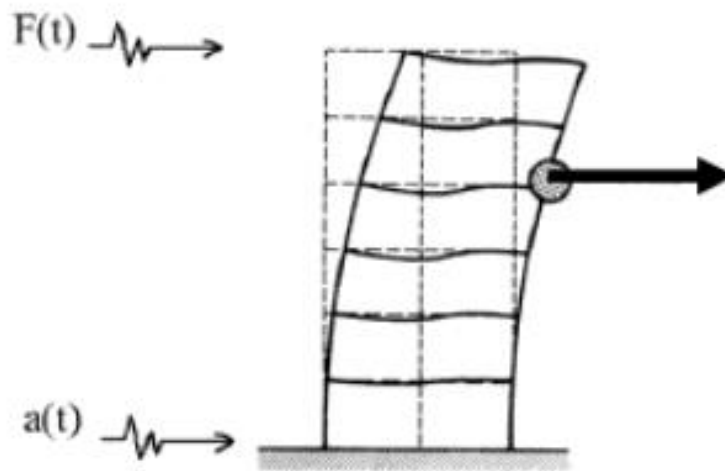


Figura 2.1 Estructura con excitación en la base (Martínez, 2013).

### 2.1. Método dinámico modal espectral

El método dinámico modal espectral para la obtención de fuerzas sísmicas tiene sus bases en la dinámica estructural y específicamente en la ecuación general de movimiento para estructuras con excitación en la base de acuerdo con Chopra, 2007:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\mathbf{1}\ddot{u}_g \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

$m$  es la matriz diagonal de masas

$c$  es la matriz de amortiguamiento

$k$  es la matriz de rigideces

$u$  es el vector de desplazamientos relativos a la base

$\dot{u}$  es el vector de velocidades relativas a la base

$\ddot{u}$  es el vector de aceleraciones relativas a la base

$u_g$  es la aceleración en la base

$\mathbf{1}$  es un vector cuyos grados de libertad correspondientes a la dirección de análisis contienen a la unidad

La ecuación 2.1 es una ecuación diferencial homogénea, cuya solución se obtiene, sin considerar el amortiguamiento, haciendo:

$$u = \phi \sin \omega t \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Y al sustituir la ecuación 2.2 en la ecuación 2.1 se convierte en un problema de eigen-valores:

$$k\phi_n = \omega_n^2 m\phi_n \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde el sistema de ecuaciones tiene N pares de soluciones obteniendo así los eigen-valores y eigen-vectores, donde:

$\phi_n$  es un vector de factores de modificación de la matriz característica.

Por lo general la amplitud de los movimiento se fija arbitrariamente haciendo  $\phi_j^T \phi_j = 1$ .

En la figura 2.2 se muestra una de las formas típicas de vibrar de una estructura de un GDL, mientras que en la figura 2.3 se muestran los desplazamientos  $u$  de

las masas de una estructura de varios grados de libertad en función del modo de vibración.

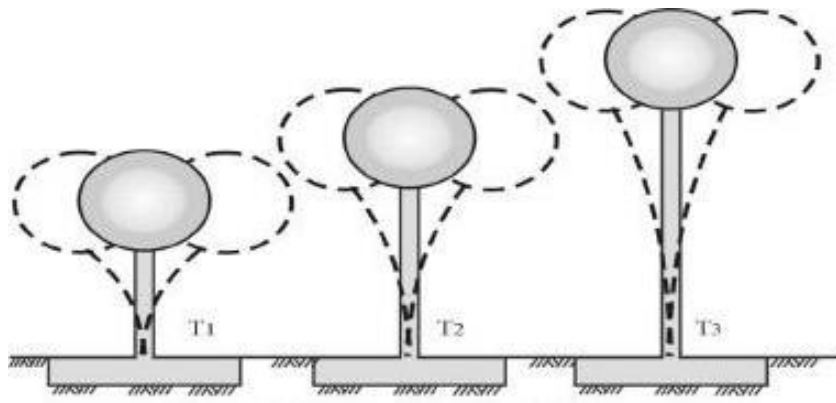


Figura 2.2 Forma modal de una estructura (Martínez, 2013)

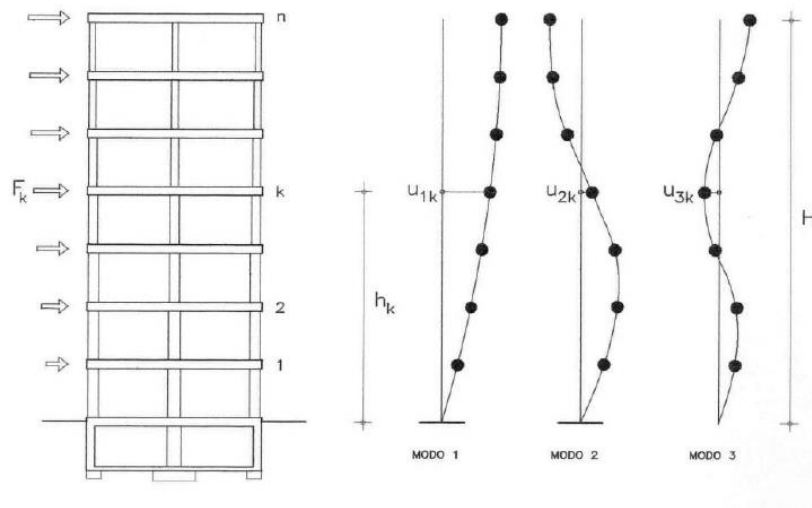


Figura 2.3 Desplazamientos de las masas de una estructura de varios GDL (Martínez, 2013)

Cualquier solución a la ecuación 2.1 puede expresarse como una combinación lineal de los vectores  $\phi_n$ , que es justamente el enfoque que se utiliza en el análisis modal, esto es:

$$\sum_{i=1}^N \phi_i q_i(t) = \sum_{i=1}^N u_i(t) \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde  $q_i(t)$  son las nuevas incógnitas del problema, conocidas como las coordenadas modales. Al sustituir la ecuación 2.4 en la ecuación 2.1 y premultiplicando por  $\phi_n^T$ , se tiene:

$$M_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = L_n \ddot{u}_g \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

$$M_n = \phi_n^T m \phi_n \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$C_n = \phi_n^T c \phi_n \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$K_n = \phi_n^T k \phi_n \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$L_n = \phi_n^T m \mathbf{1} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Las formas modales son ortogonales respecto a las matrices de masas, amortiguamiento y rigideces, tomando esto en cuenta y al dividir la ecuación 2.5 entre  $M_n$  se obtiene:

$$\ddot{q}_n + 2\zeta_n \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = -\Gamma_n \ddot{u}_g \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde:

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_n}{M_n}} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

$$\zeta_n = \frac{C_n}{2\omega_n M_n} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

La ecuación es de un sistema de un grado de libertad con una aceleración en la base, excepto por el factor  $\Gamma_n$ . La ecuación estándar es:

$$\ddot{D}_n + 2\zeta_n\omega_n\dot{D}_n + \omega_n^2D_n = -\ddot{u}_g \quad \text{Ecuación 2.14}$$

De modo que  $q_n = \Gamma_n D_n$ . Por lo tanto, la ecuación 2.4 puede escribirse como:

$$u_n = \phi_n q_n = \phi_n \Gamma_n D_n = \frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} \phi_n A_n \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Donde:

$$A_n = \omega_n^2 D_n \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Las fuerzas elásticas en los pisos por modo son determinadas mediante la ecuación:

$$F_n = k u_n = k \phi_n \frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} A_n(T_n, \zeta_n) \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Si se substituye la ecuación 2.3 en la ecuación 2.17 se puede obtener:

$$F_n = \phi_n m \Gamma_n A_n(T_n, \zeta_n) \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Donde la aceleración  $A_n$  se toma directamente del espectro de diseño como se muestra en la figura 2.4.

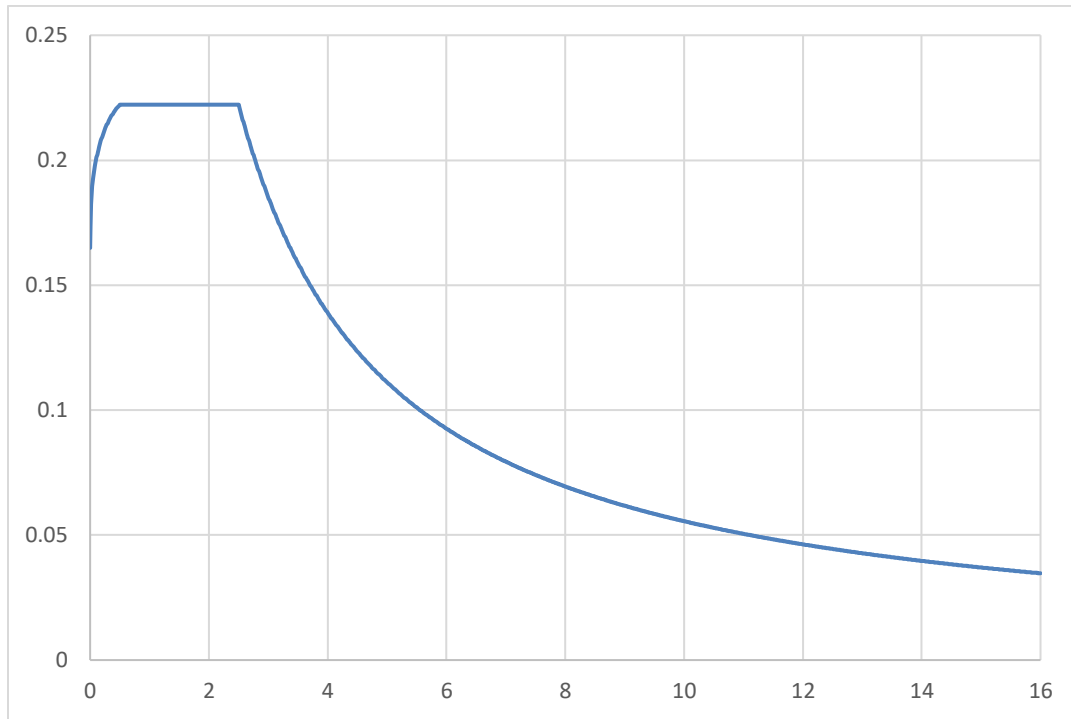


Figura 2.4 Espectro de diseño (NTC-DS, 2004)

Para obtener el cortante basal es necesario sumar las fuerzas en los pisos en la dirección de análisis; esto es:

$$V_b = W_n \frac{A_n}{g} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

En las normas técnicas complementarias para diseño por sismo se debe cumplir una participación modal de pesos efectivos del 90%, esto significa que deberán incluirse tantos modos como se necesite para alcanzar una participación de los pesos de cada entrepiso de al menos 90%.

## 2.2. Método estático

Para utilizarse el método estático de análisis sísmico, las NTC-DS 2017 establecen una serie de criterios que la estructura debe cumplir para hacer válidas las suposiciones y criterios tomados al establecerse las fórmulas del método.

- Para estructuras regulares la altura máxima es de 30 m.
- Para estructuras irregulares la altura máxima es de 20 m.
- Si la estructura se encuentra en la zona I la altura máxima para estructuras regulares es de 40 m. y para estructuras irregulares es de 30 m.
- La estructura no puede pertenecer al grupo A.
- La estructura no puede ser muy irregular.
- La estructura debe tener un sistema de piso de diafragma rígido.

El método estático se determina a partir del método modal haciendo la siguiente suposición:

$$u(t) = \psi_N z(t) \quad \text{Ecuación 2.20}$$

Donde  $\psi$  es un vector de forma y  $z(t)$  es una coordenada escalar que puede interpretarse como el desplazamiento de azotea, si  $\psi_N = 1$ . Siendo  $N$  el número de niveles el cual coincide con el número de grados de libertad, de esta manera se ha conseguido reducir un sistema de múltiples grados de libertad a uno de un solo grado de libertad,  $z$ . El desplazamiento por nivel  $j$  es:

$$u_j = \psi_j z(t) \quad \text{Ecuación 2.21}$$

Si se desprecia el amortiguamiento de la ecuación de movimiento y se considera la ecuación 2.21, la ecuación de movimiento obtenida será:

$$M\ddot{z} + Kz = -L\ddot{u}_g \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Donde:

$$M = \psi^T m \psi \quad \text{Ecuación 2.23}$$

$$K = \psi^T k \psi$$

Ecuación 2.24

$$L = \psi^T M \mathbf{1}$$

Ecuación 2.25

Si el modelo masa-resorte se supone de cortante en la dirección de análisis, los grados de libertad son solo desplazamientos laterales y la matriz de rigideces es tridiagonal. En la figura 2.5 se muestran las fuerzas que se generan en la estructura al imponer un desplazamiento lateral en cada grado de libertad en forma independiente.

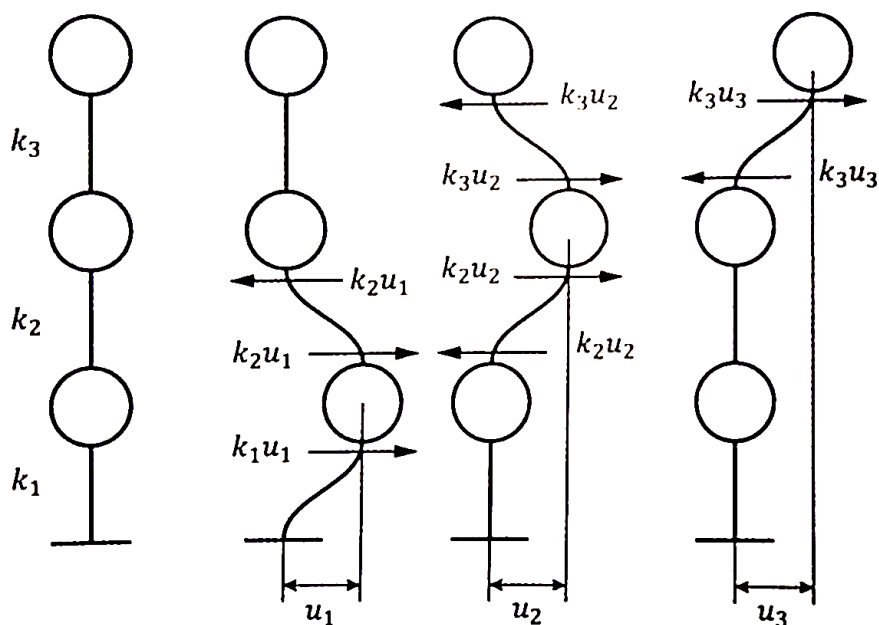


Figura 2.5 Fuerzas generadas por el desplazamiento lateral en grados de libertad (**Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019**)

Al generalizar con  $N$  grados de libertad se obtiene la siguiente matriz de rigideces:

$$k = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & & & & \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_2 & & & \\ & -k_2 & k_3 + k_4 & \dots & & \\ & & \vdots & \ddots & -k_N & \\ & & & -k_N & k_N & \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 2.26}$$

Donde  $k_i$  es la rigidez del entrepiso  $i$ . Al combinar las ecuaciones 2.23, 2.24 y 2.25 con la expresión de movimiento obtenida en la ecuación 2.22 y darle solución al problema homogéneo haciendo  $z = \sin \omega t$  se obtiene la frecuencia natural de vibración:

$$\omega^2 = \frac{\sum_{j=1}^N k_j (\psi_j - \psi_{j-1})^2}{\sum_{j=1}^N m_j \psi_j^2} \quad \text{Ecuación 2.27}$$

Dado que el cortante de entrepiso se puede tomar como:  $V_j = k_j(u_j - u_{j-1})$  o lo que es lo mismo  $V_j = k_j z(\psi_j - \psi_{j-1})$  (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019), se puede racionalizar la ecuación 2.27 con  $z^2$  obteniendo:

$$\begin{aligned} \omega^2 &= \frac{\sum_{j=1}^N k_j z^2 (\psi_j - \psi_{j-1})^2}{z^2 \sum_{j=1}^N m_j z^2 \psi_j^2} = \frac{\sum_{j=1}^N V_j (u_j - u_{j-1})^2}{\sum_{j=1}^N m_j u_j^2} \\ &= \frac{\sum_{j=1}^N (\sum_{N=1}^j F_j) (u_j - u_{j-1})^2}{\sum_{j=1}^N m_j u_j^2} \end{aligned} \quad \text{Ecuación 2.28}$$

Al expandirse la sumatoria del numerador se puede llegar a la conclusión:

$$\omega^2 = \frac{\sum_{j=1}^N F_j u_j}{\sum_{j=1}^N m_j u_j^2} \quad \text{Ecuación 2.29}$$

Al recordar que  $m_j = \frac{w_j}{g}$  y  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  y substituir estos valores en la ecuación 2.29 y despejar T se tiene:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N w_j u_j^2}{g \sum_{j=1}^N F_j u_j}} \quad \text{Ecuación 2.30}$$

La ecuación 2.30 es la utilizada en las NCT-DS 2017 para aproximar el periodo de la estructura, mostrando buenos resultados para estructuras cuya respuesta está controlada por el primer modo de vibrar, lo cual es común en estructuras de mampostería.

El vector  $\psi$  puede suponerse linealmente creciente de acuerdo a la siguiente formula:

$$\psi_j = \frac{h_j}{h_N} \quad \text{Ecuación 2.31}$$

Con este vector  $\psi$  y la ecuación 2.27 puede aproximarse también el periodo de la estructura, donde  $h_j$  es la altura del entrepiso  $j$  y  $h_N$  es la altura de la azotea medidas desde la base.

El desplazamiento de la azotea  $z$  puede obtenerse mediante la ecuación 2.15 sustituyendo  $\phi_N$  con  $\psi_N$  y la suposición anterior de dicho vector; la ecuación resultante sería:

$$z = \frac{\Gamma}{\omega^2} \psi_N A_N = \frac{h_j \sum_{i=1}^N m_i h_i}{\omega^2 \sum_{i=1}^N m_i h_i^2} A_N \quad \text{Ecuación 2.32}$$

Una vez obtenido el valor de  $z$  se pueden obtener el resto de los desplazamientos por nivel:

$$\mathbf{u}_j = z\psi_j \quad \text{Ecuación 2.33}$$

Los cortantes de entrepiso:

$$\mathbf{V}_j = \mathbf{k}_j(\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_{j-1}), \quad \mathbf{u}_0 = \mathbf{0} \quad \text{Ecuación 2.34}$$

Y por último determinar las fuerzas por nivel:

$$\mathbf{F}_j = (\mathbf{V}_j - \mathbf{V}_{j+1}), \quad \mathbf{V}_{N+1} = \mathbf{0} \quad \text{Ecuación 2.35}$$

Alternativamente las fuerzas por entrepiso pueden determinarse directamente mediante la ecuación 2.18 la cual al racionalizar con  $L$  puede reescribirse como:

$$F = \frac{m\psi L^2}{L M} A \quad \text{Ecuación 2.36}$$

Donde  $\frac{L^2}{M} = M^*$ , también  $W = M^*g$  y para este específico caso dada la condición de una estructura de un grado de libertad, estos son la masa y el peso total, que al reescribir la ecuación 2.36, queda:

$$F = \frac{m\psi}{L} W \frac{A}{g} \quad \text{Ecuación 2.37}$$

Al sustituir la definición del vector  $\psi$  así como el valor de  $L$  y particularizando la ecuación para el nivel  $i$  se obtiene la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{m_i h_i}{\sum_{i=1}^N m_i h_i} V_b \quad \text{Ecuación 2.38}$$

La ecuación 2.38 es la recomendada por las NTC-DS 2017 para calcular las fuerzas y donde el cortante basal  $V_b$  esta dado por la ecuación 2.36.

Las ecuaciones obtenidas en este capítulo, son utilizadas para obtener las fuerzas inerciales en la estructura, donde la distribución de estas acciones se realizará siguiendo cualquier método que utilice la teoría elástica como los presentados más adelante.

## **CAPITULO 3. METODOS Y NORMATIVA PARA EL ANALISIS Y DISEÑO DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERIA.**

Existen 3 distintos métodos de análisis utilizados para estructuras a base de muros de carga, los cuales son:

- Método de elementos finitos.
- Método de columna ancha.
- Método de análisis plano.

Los métodos antes mencionados cuentan con ventajas y desventajas, por lo que el ingeniero debe ser capaz de distinguir cual es más conveniente utilizar, según el proyecto y las condiciones del mismo.

### **3.1. Método de elementos finitos**

El método de elementos finitos (MEF) se define como: la separación de un dominio dado en un conjunto de subdominios llamados elementos finitos (Reddy, 1980). Los elementos finitos tienen distintas formas geométricas unidas entre sí por medio de puntos selectos llamados nodos, donde el grado de las ecuaciones de cada elemento está en función de los nodos de estos mismos.

Una característica del MEF es la búsqueda de la continuidad, normalmente mediante aproximaciones polinómicas de la solución de cada subdominio en término de los valores de los nodos y ensamblando las ecuaciones de los elementos por medio del equilibrio de fuerzas internas.

El método de elementos finitos tiene las siguientes ventajas y desventajas:

#### **Ventajas**

- Este método obtiene bastos resultados con alta precisión.
- No impone hipótesis adicionales a las de un modelo elástico lineal.

- No requiere calcular propiedades geométricas de las secciones.

### **Desventajas**

- Requiere de un alto grado de preparación y conocimiento para la elaboración de un modelo adecuado.
- La elaboración de un modelo 3D demanda un tiempo considerable aun para estructuras simples.
- Los resultados varían de manera importante en función del mallado y tipo de los elementos finitos utilizados para el análisis.
- La recuperación de resultados requiere un esfuerzo importante aún para los softwares actuales.
- Los modelos con un mallado fino pueden consumir mucho recurso computacional para su solución.

Los fundamentos del MEF solicitan condiciones geométricas para asegurar una convergencia en la solución de las ecuaciones de los elementos:

### **Condiciones**

- La relación de aspecto de los elementos debe ser cercana a la unidad y no debe ser mayor a 2.
- Los ángulos internos de un elemento cuadrangular deberán ser cercanos a  $90^\circ$ , mayores a  $45^\circ$  y menores a  $135^\circ$
- No impone hipótesis adicionales a las de un modelo elástico lineal.
- No requiere calcular propiedades geométricas de las secciones.
- Al tener 2 elementos contiguos, estos deberán compartir los nodos que los unen.

### **Tipos de elementos**

Los tipos de elementos se clasifican en función de su dimensión de análisis (Reddy, 1980):

- Elementos 1D.

Son elementos tipo barra, lineales y unidimensionales; es decir solo poseen longitud, este tipo de elementos son útiles para problemas sencillos o bien el análisis de elementos independientes.

- Elementos 2D o elementos de área.

Son elementos cuya geometría es plana; es decir tienen largo y ancho, este tipo de elementos es útil para representar elementos con un espesor pequeño en comparación con sus otras dimensiones por ejemplo losas, placas y muros.

Los elementos área pueden subdividirse según su geometría en cuadrangulares (4 nodos) o bien triangulares (3 nodos) donde el uso de estos está en función del ajuste geométrico a la figura real pues de esto dependerá en gran medida la convergencia de la solución.

Independientemente de la geometría existen 3 tipos de elementos área según sus grados de libertad:

- Elementos para esfuerzos planos (Plane stress): Tienen 2 grados de libertad por nodo los cuales son la traslación en la dirección x y dirección y ( $U_x$  y  $U_y$ ) según se muestra la figura 3.1, mientras que el esfuerzo normal en dirección z es 0 ( $\sigma_z = 0$ ).

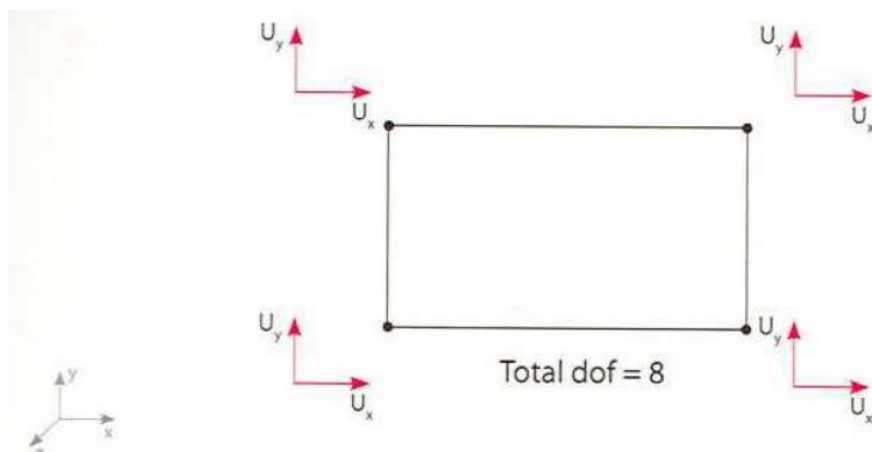


Figura 3.1 Elemento 2D cuadrangular para esfuerzos planos (S. Gokhale, 2008)

Estos elementos son recomendados para modelar placas delgadas de acero.

- Elementos para deformaciones planas (Plane strain): Tienen 2 grados de libertad por nodo los cuales son la traslación en la dirección x y dirección y ( $U_x$  y  $U_y$ ) según se muestra la figura 3.2, mientras que la deformación en dirección z es 0 ( $\varepsilon_z = 0$ ).

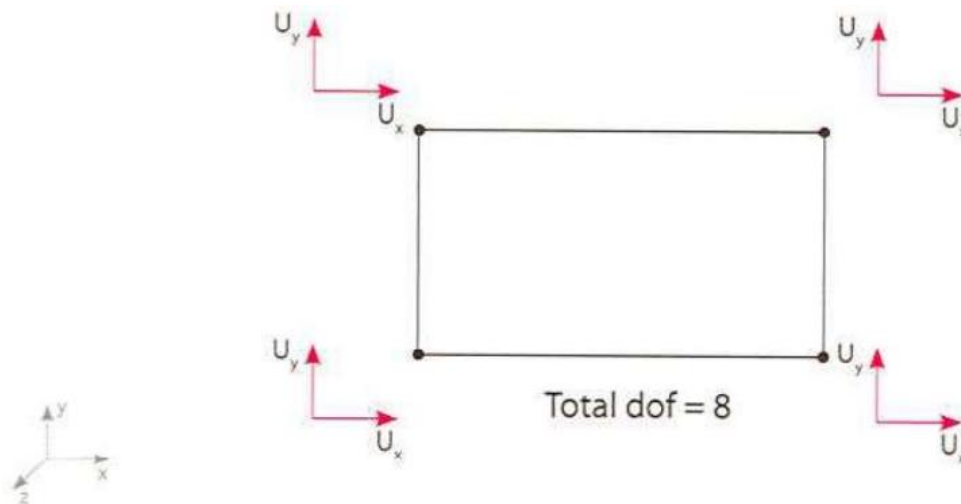


Figura 3.2 Elemento 2D cuadrangular para deformaciones planas (S. Gokhale, 2008)

Estos elementos son recomendados para modelar tuberías y vigas anchas.

- Elementos placa (Plate): Tienen 3 grados de libertad por nodo los cuales son 2 de rotación en el plano ( $\theta_x$  y  $\theta_y$ ) y un desplazamiento fuera del plano ( $U_z$ ) según se muestra la figura 3.3.

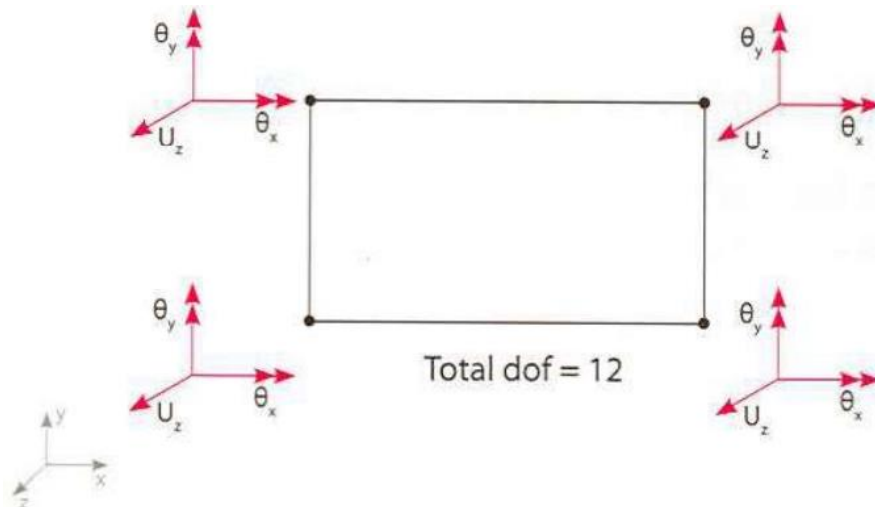


Figura 3.3 Elemento 2D cuadrangular tipo placa (S. Gokhale, 2008)

Estos elementos son adecuados para modelar miembros sujetos a flexión.

- Elementos diafragma o membrana (Membrane): Tienen 3 grados de libertad por nodo los cuales son 2 de traslación en el plano ( $U_x$  y  $U_y$ ) y una rotación fuera del plano ( $\theta_z$ ) según se muestra la figura 3.4.

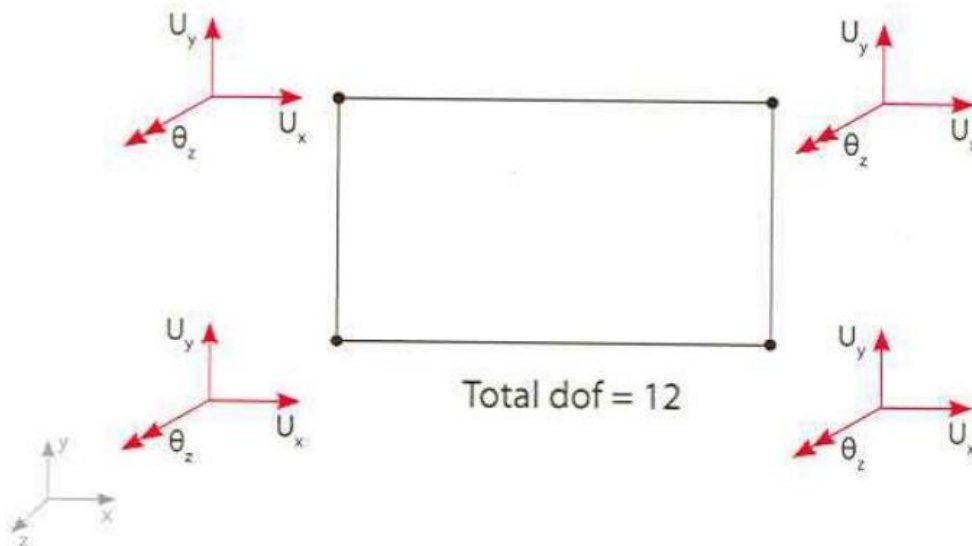


Figura 3.4 Elemento 2D cuadrangular tipo membrana (S. Gokhale, 2008)

Estos elementos son utilizados para la modelación de globos o deflectores.

- Elementos cascaron (Thin shell): Es el caso más general pues tiene 6 grados de libertad por nodo los cuales son 3 de traslación ( $U_x$ ,  $U_y$  y  $U_z$ ) y 3 rotaciones ( $\theta_x$ ,  $\theta_y$  y  $\theta_z$ ) según se muestra la figura 3.5.

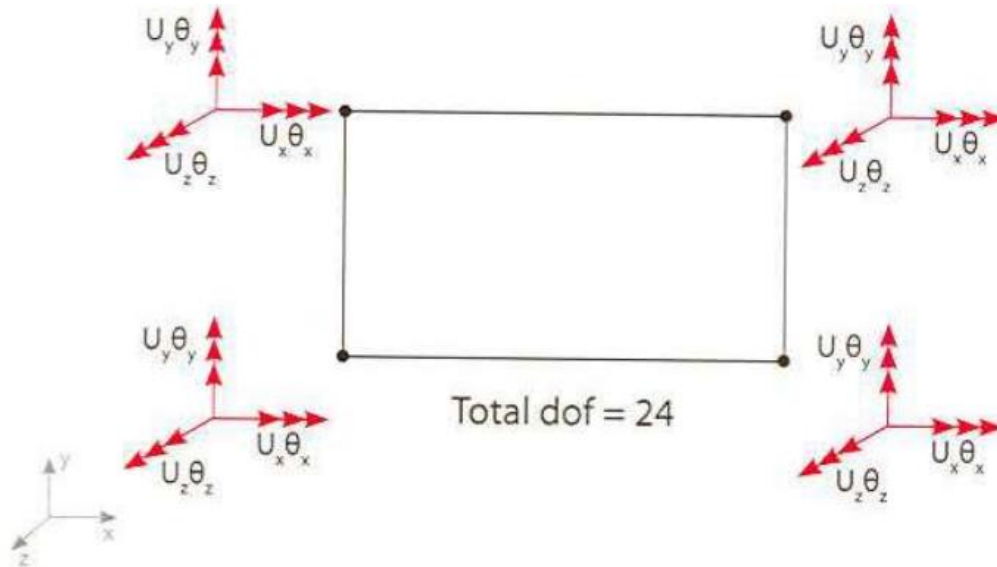


Figura 3.5 Elemento 2D cuadrangular tipo cascaron (S. Gokhale, 2008)

Estos elementos son los más comunes por ser el caso más general.

- Elementos 3D o elementos de volumen.

Los elementos 3D pueden clasificarse según su geometría en: tetra, pentagonal, hexagonal o piramidal y el único tipo existente es sólido.

Al igual que como ocurre en los elementos 2D, los elementos 3D también pueden ser ecuaciones parabólicas o lineales en función del número de nodos de los elementos como se muestra en la figura 3.6.

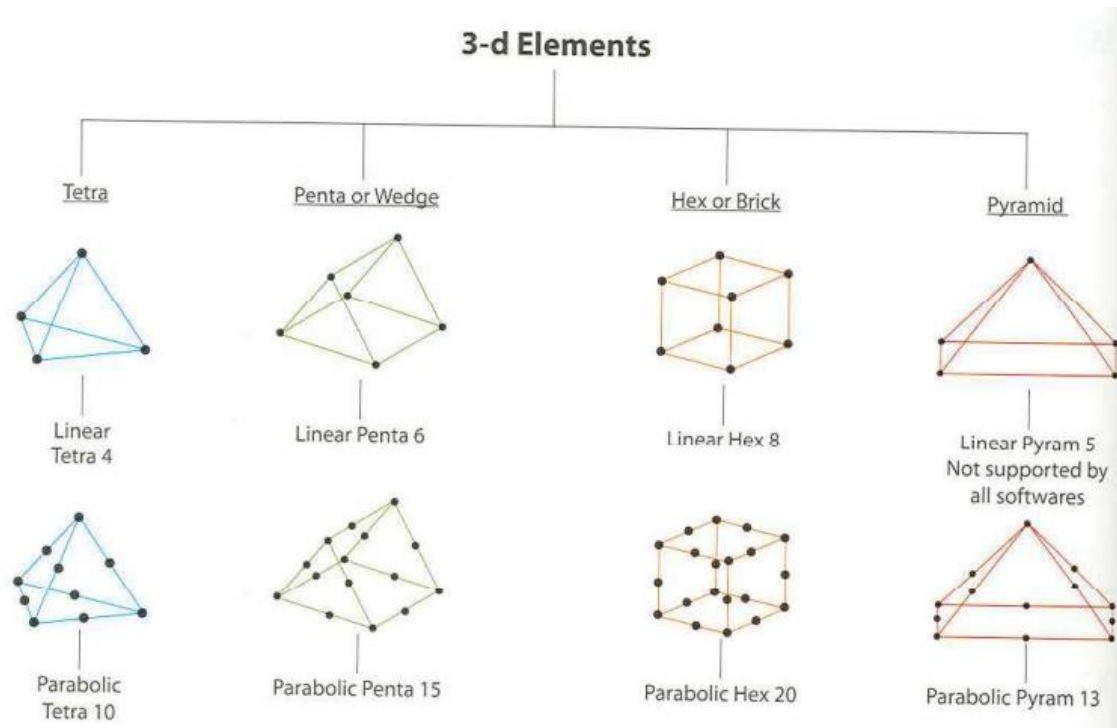


Figura 3.6 Tipos de elementos 3D (S. Gokhale, 2008)

### Etapas para formular problemas mediante MEF

Los pasos básicos para formular problemas mediante el método de elementos finitos constan de 3 fases según Ortiz Prado en el año 2013, los cuales son los siguientes:

Fase de preproceso:

1. Crear y discretizar la solución dominio en elementos finitos; es decir subdividir el problema en nodos y elementos.
2. Elegir el tipo de elemento acorde a las solicitaciones.
3. Desarrollar las ecuaciones para el elemento.
4. Armar los elementos a representar en el problema completo y construir la matriz de rigidez global.
5. Aplicar condiciones de frontera, condiciones iniciales y de carga.

Fase de solución:

1. Resolver un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales o no lineales simultaneas para obtener resultados globales, tal como valores de desplazamientos en diferentes nodos.

Fase de postproceso:

1. Con base en los resultados obtenidos se puede volver al proceso de solución para conocer los valores de desplazamientos locales en diversos nodos.

### **Recomendaciones según la NTCM-17.**

Los elementos finitos utilizados para modelar muros de mampostería deberán ser elementos finitos 2D cuadrangulares lineales tipo membrana siempre que la formulación de dichos elementos pueda representar adecuadamente la flexión en el plano del muro, o con elementos lineales tipo cascaron. Estos elementos también deberán tener las propiedades mecánicas de la mampostería y el espesor igual al espesor del muro.

Se utilizará un solo elemento por panel, siendo un panel el área de muro delimitada por castillos y dalas, siempre que la relación de aspecto del elemento no sea mayor que 2; en caso contrario se propondrá una malla que cumpla con este requisito.

Los elementos contiguos tanto en el plano del muro como fuera de él deberán ser continuos en los nudos.

Los castillos se modelarán con elementos prismáticos tipo barra localizados en el centroide de la sección transversal del castillo y las propiedades mecánicas del concreto del que están hechos. Los elementos barra deberán ser continuos en los nudos de todos los elementos finitos contiguos como se muestra en la figura 3.7.

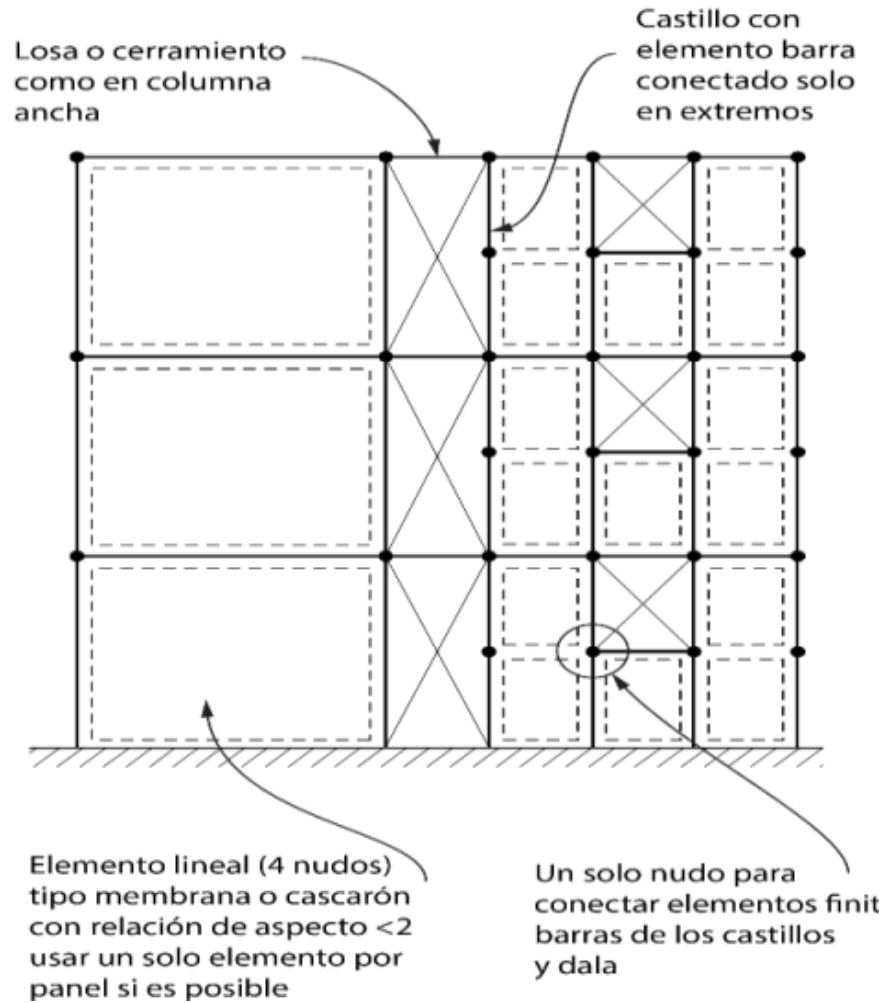


Figura 3.7 Modelo de muro con elementos finitos (**Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017**)

### La variación de los resultados

La sociedad mexicana de ingeniería estructural en su obra “Edificaciones de mampostería” del año 2019 muestra 4 ejemplos de modelación de un muro de mampostería cambiando el mallado del miembro acorde según la norma NTCM-17 los cuales se muestran en la figura 3.8

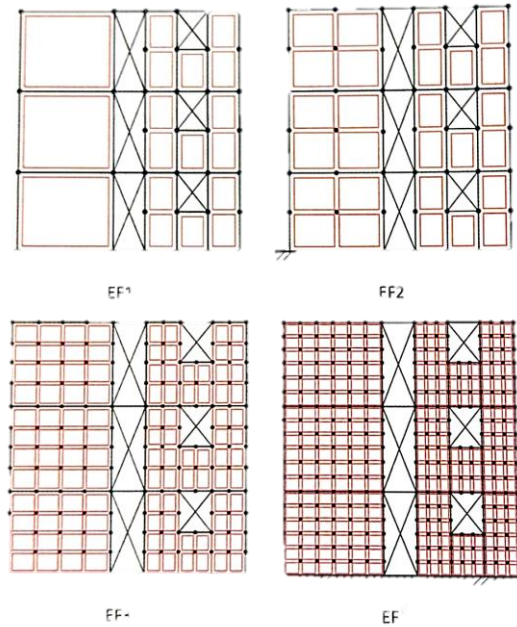


Figura 3.8 Distintos modelos con elemento finito (**Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019**)

Los errores relativos encontrados en los modelos de la figura 3.8 se muestran en la tabla 3.1.

	EF1 (%)	EF2 (%)	EF3 (%)	EF4 (%)
<b>S1</b>	4.5	0.2	2.9	3.2
<b>S2</b>	-6	-0.2	-3.8	-4.2
<b>S3-N1</b>	-7.37	-3.4	-7.8	-8.6
<b>S3-N2</b>	-2.3	-1.4	-5	-5.6
<b>S3-N3</b>	2.4	-3.3	-2.1	-2.7
<b>S4-N1</b>	-4.1	4.2	1.9	2.1
<b>S4-N2</b>	-0.6	4.8	5.9	6.2
<b>S4-N3</b>	-11.5	-5.7	5.7	6.8

Tabla 3.1 Errores relativos de fuerza cortante con distintos modelos de elemento finito (**Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019**)

### **3.2. Método de columna ancha**

El método de columna ancha es un método de modelación el cual consiste en reducir elementos área a elementos barra sustituyendo los muros por elementos barra que pasan por el centroide de los mismos inter conectados por zonas rígidas (Taveras Montero, 2008).

Según Wilson, este método resulta mejor para el modelado de muros de cortante que el MEF por su simplicidad, ya que captura con precisión el comportamiento de la estructura, y se obtienen resultados que pueden ser directamente usados en el diseño. Además, de la dificultad del EF de capturar la distribución parabólica del esfuerzo cortante y deformación a flexión que se presenta a menudo en los elementos de un marco (Wilson, 1998).

### **Recomendaciones según la NTCM-17.**

Las NTCM-17 establecen una serie de criterios para la modelación de estructuras de mampostería utilizando este método, dichos criterios buscar representar lo más cercano a la realidad posible los miembros estructurales:

1. El área transversal del muro será el área transversal del muro más el área transformada de los castillos que se estén considerando en la sección del muro.
2. Área de cortante en la dirección paralela al muro. En forma aproximada, el área de cortante podrá estimarse como el área del muro más el área sin transformar de los castillos.
3. Área de cortante en el sentido transversal. Deberá tomarse como el área transversal de la mampostería más el área transformada de los castillos y todo dividido entre el factor de forma para cortante de la sección transversal (1.2, para secciones rectangulares).
4. Momento de inercia con respecto al eje centroidal trasversal de la sección. Se tomará como la suma del momento de inercia de la sección de mampostería y el momento de inercia transformado de los castillos considerados en la sección, respecto al mismo eje.

5. Inercia respecto al eje paralelo al muro. Se tomará como la inercia de la mampostería más la inercia transformada de los castillos.
6. La constante de torsión de Saint Venant se tomara como  $L \frac{t^3}{3}$ .
7. Los muros largos, como aquéllos con castillos intermedios, podrán dividirse, para efectos de modelación, en uno o más segmentos, cada uno para modelarse con una columna ancha, siempre que la longitud del muro dividida entre la altura libre del muro sea al menos 1.4.
8. Se deberá usar los valores de módulos de cortante y módulos de elasticidad para cargas de corta duración.
9. Los elementos barra deberán tener las propiedades geométricas transformadas del muro que representa, así como sus propiedades mecánicas incluyendo las secciones transformadas de los castillos (sin repetir castillos compartidos).
10. Para facilitar la localización de las columnas anchas es suficiente localizar el elemento barra al centro del muro. Esta posición, en general, será diferente al centroide de la sección en aquellos elementos que incluyan un castillo en solo uno de sus bordes. Puede ponerse el eje al centro geométrico pero cuidando que  $e < 0.1L$ .
11. Las propiedades del eje deben ser siempre centroidales, aun cuando haya diferencias entre el eje centroidal y la posición del eje del muro.
12. Para estimar la rigidez a flexión en losas, con o sin pretilas, se considerará un ancho de cuatro veces el espesor de la losa a cada lado de la viga o dala, o de tres veces el espesor de la losa cuando no se tiene viga o dala, o cuando la dala está incluida en el espesor de la losa (figura 3.9).

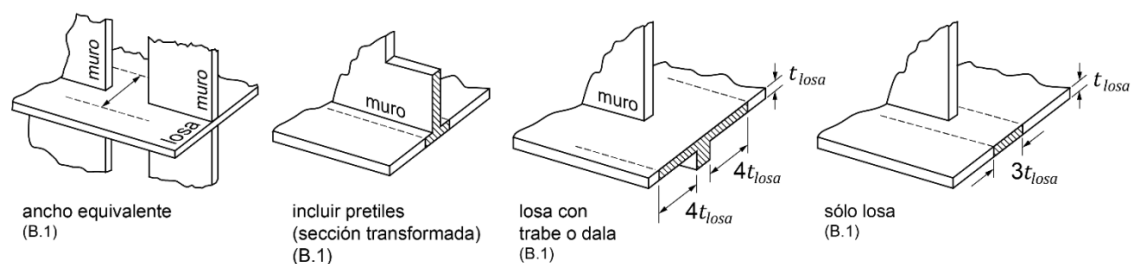


Figura 3.9 Ancho equivalente en losas (**Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017**)

13. En los análisis a base de marcos planos, para estimar la rigidez a flexión de muros con patines, se considerará un ancho del patín a compresión a cada lado del alma que no exceda de seis veces el espesor del patín (figura 3.10).

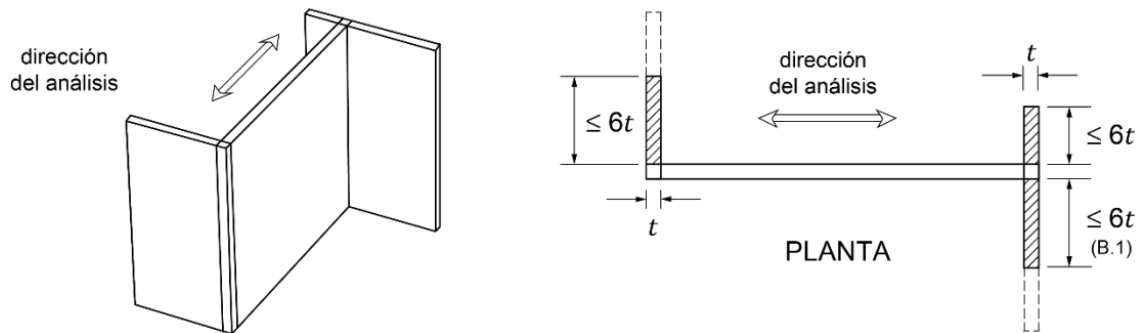


Figura 3.10 Ancho efectivo del patín a compresión en muros para análisis a base de marcos planos (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017)

### Calculo de propiedades de la sección transversal

A continuación, en la figura 3.11 se muestra un ejemplo de un muro de mampostería modelado mediante el método de columna ancha, en ella se muestra el cálculo del área transversal del elemento, el momento de inercia y la relación modular necesaria para la transformación de las propiedades geométricas:

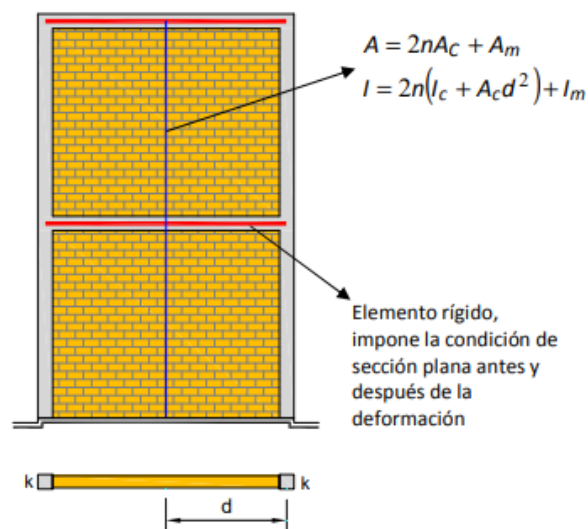


Figura 3.11 Muro modelado con columna ancha (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019)

Los elementos rígidos mostrados en la figura 3.11 con color rojo solo son necesarios si algún otro elemento conecta en uno de los extremos del muro.

Para determinar el área de cortante de la sección hecha de un solo material se expresa según la siguiente ecuación:

$$A_v = \frac{A}{k} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde  $A$  es el área transversal transformada de la sección,  $k$  es un factor de forma, cuyo valor recomienda Taveras en su tesis en el año 2008 como:

$$k = \frac{6}{5} + \frac{6\alpha(n-1)}{5 \cdot 2(1-\alpha)} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde  $n$  es la relación modular y  $\alpha$  se obtiene mediante la ecuación 3.3.

$$\alpha = \frac{\sum_i b_i}{L} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde  $\sum_i b_i$  es la suma de las longitudes de los castillos y  $L$  la longitud total del muro.

La expresión anterior es válida para valores de  $0 < \alpha < 0.2$  y de  $1 < n < 6$ .

Mientras que para el área de cortante en el sentido transversal de la sección puede determinarse mediante la ecuación 3.1 utilizando un valor de  $k = 1.2$  (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019).

El momento de inercia fuera del plano del muro deberá reducirse al momento de inercia solo de los castillos ya que la hipótesis de diseño de la mampostería deberá soportar flexiones fuera de su plano, por lo tanto, estas acciones serán tomadas por los castillos.

## División de muros en segmentos

Es común modelar los muros largos con varias columnas anchas, sin embargo, al analizar la fórmula de la rigidez lateral, se observa que al considerar el muro en segmentos la rigidez por flexión se verá afectada.

El caso más simple de dividir un muro en voladizo en 2 segmentos se presenta en la figura 3.12.

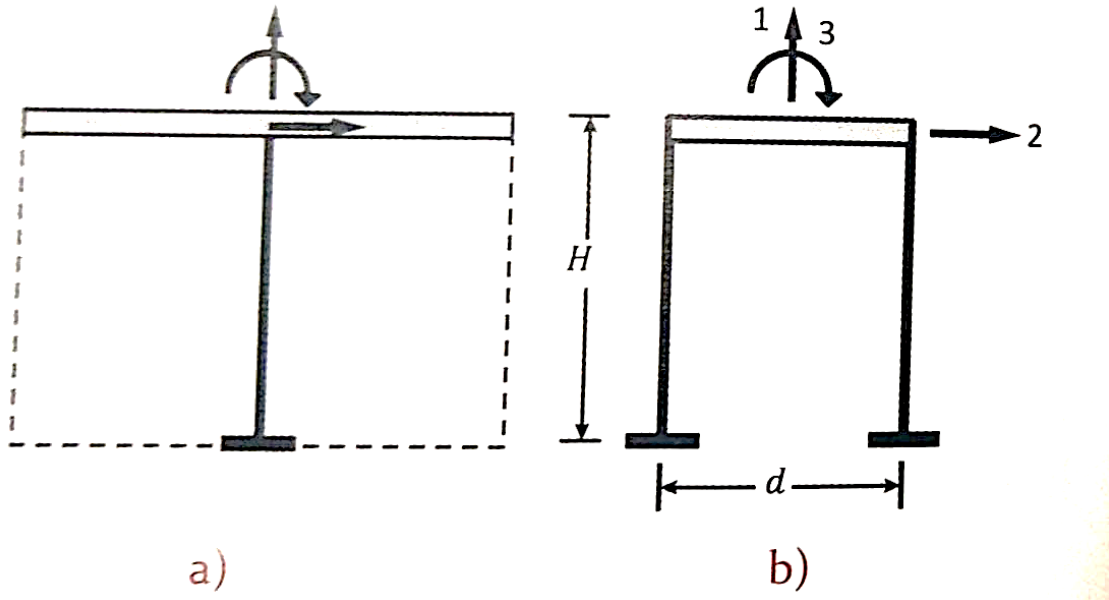


Figura 3.12 Modelo de un muro en voladizo con 1 barra (a) y 2 barras (b) (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019)

De acuerdo con la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, en el 2019 se propone una fórmula para determinar la rigidez de muros en voladizo con segmentos de 1 y 2 barras como los mostrados en la figura 3.12.

$$k_{1b} = \frac{5Etaw^3}{20\alpha + 6w^2 - 15\alpha\beta}$$

Ecuación 3.4

$$k_{2b} = \frac{5Et\alpha w^3}{35\alpha + 6w^2 - 15\alpha\beta} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

$$w = \frac{L}{H} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

$$G = \alpha E \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Y  $\beta = 1$  si el extremo de la barra esta articulado y  $\beta = 0$  si esta empotrado.

### Variación de los resultados

La sociedad mexicana de ingeniería estructural en su obra “Edificaciones de mampostería” del año 2019 muestra 4 ejemplos de modelación de un muro de mampostería mostrado en la figura 3.13, cambiando el modelo con barras según el método de columna ancha de acuerdo con la norma NTCM-17 los cuales se muestran en la figura 3.14.

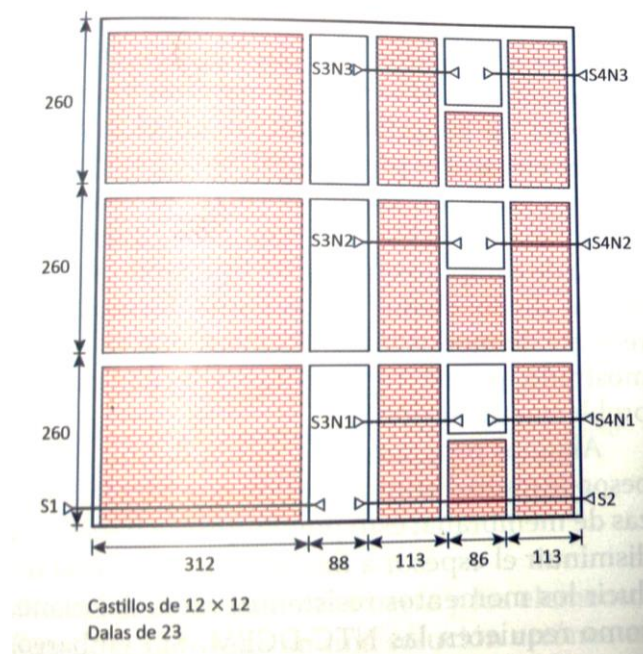


Figura 3.13 Modelo de prueba (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019)

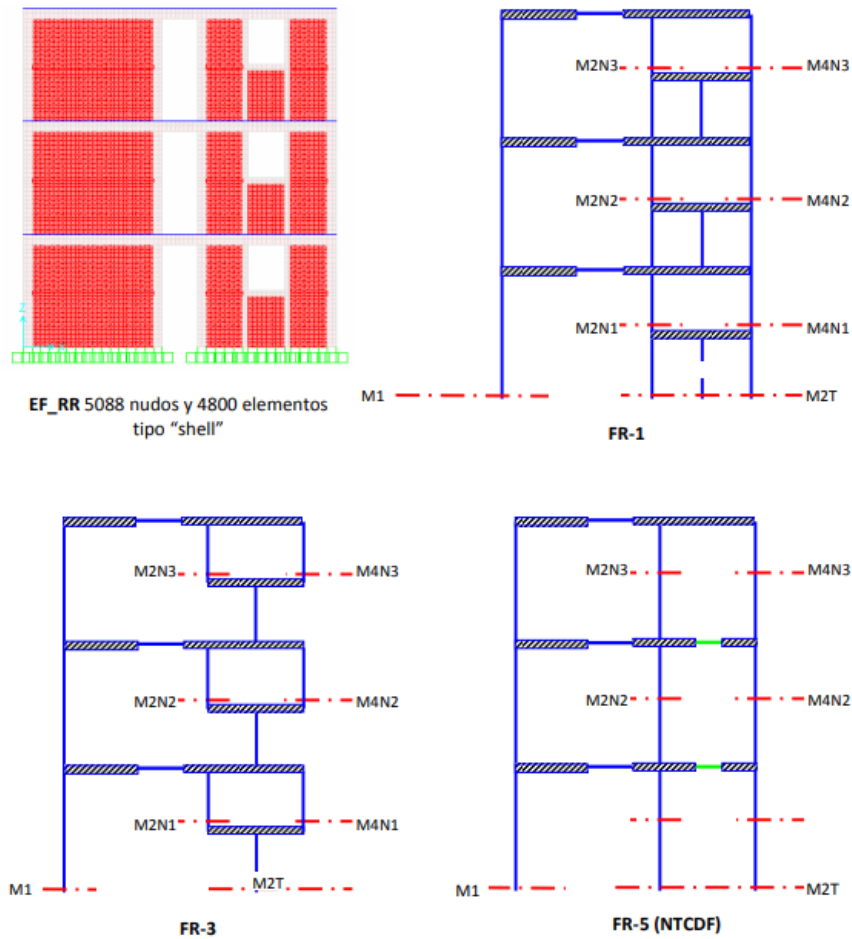


Figura 3.14 Distintos modelos de columna ancha (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019)

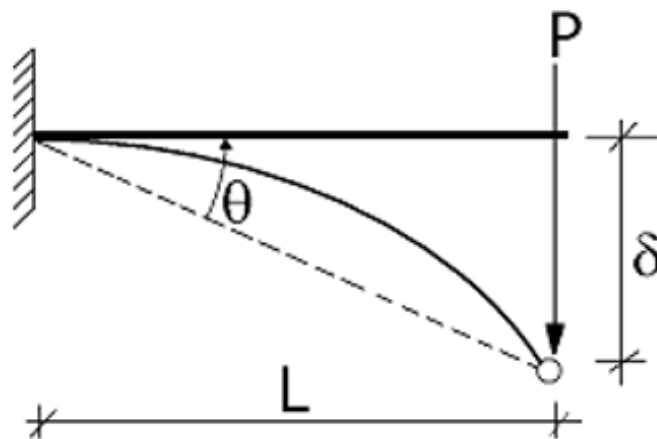
Los errores relativos encontrados en los modelos de la figura 3.13 se muestran en la tabla 3.2.

	FR1 (%)	FR2 (%)	FR3 (%)	FR4 (%)
<b>S1</b>	-3.9	-8.3	10.0	13.4
<b>S2</b>	5.2	11.0	-13.3	-17.8
<b>S3-N1</b>	-10.7	-5.7	-26.0	-25.5
<b>S3-N2</b>	-17.6	-15.4	-22.6	1.1
<b>S3-N3</b>	-5.3	-6.1	-12.4	5.4
<b>S4-N1</b>	27.8	35.0	4.9	-6.8
<b>S4-N2</b>	31.9	35.5	21.6	42.1
<b>S4-N3</b>	12.3	9.8	16.3	28.4

Tabla 3.2 Errores relativos de fuerza cortante con distintos modelos de columna ancha (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019)

### 3.3. Método del muro en voladizo para un análisis plano.

El método de muro en voladizo idealiza los muros como columnas en voladizo (figura 3.15) tomando en cuenta su rigidez a flexión y a cortante, y despreciando el acoplamiento de las losas. Para muros con una relación altura/longitud pequeña (menor a 2) esta hipótesis es adecuada, sin embargo, para muros con relaciones grandes (mayores a 2), la hipótesis es conservadora ya que para este caso las losas logran acoplar su comportamiento (Williams Linera, Riquer Trujillo, & Leyva Soberanis, 2010).



Donde:

$P$  = Carga actuante en el muro

$\delta$  = El desplazamiento lateral del muro

$L$  = Altura del muro

Figura 3.15 Flexión de un elemento en voladizo (Sarcos Portillo, A. Delgado, & Legl García, 2005)

Las fuerzas en cada nivel de la estructura obtenidas por un análisis sísmico estático o dinámico son distribuidas en los muros en función de su rigidez lateral (Bazán Zurita, 2015). Para esto, si se admite que la estructura cuenta con un diafragma rígido, es simétrica en cuanto a masas, elementos resistentes verticales y es de cortante, los elementos resistentes tendrán restringido el giro de sus extremos y la fuerza lateral que toma cada elemento resistente será proporcional a su rigidez relativa. Esta situación y su sistema equivalente se muestra en la figura 3.16.

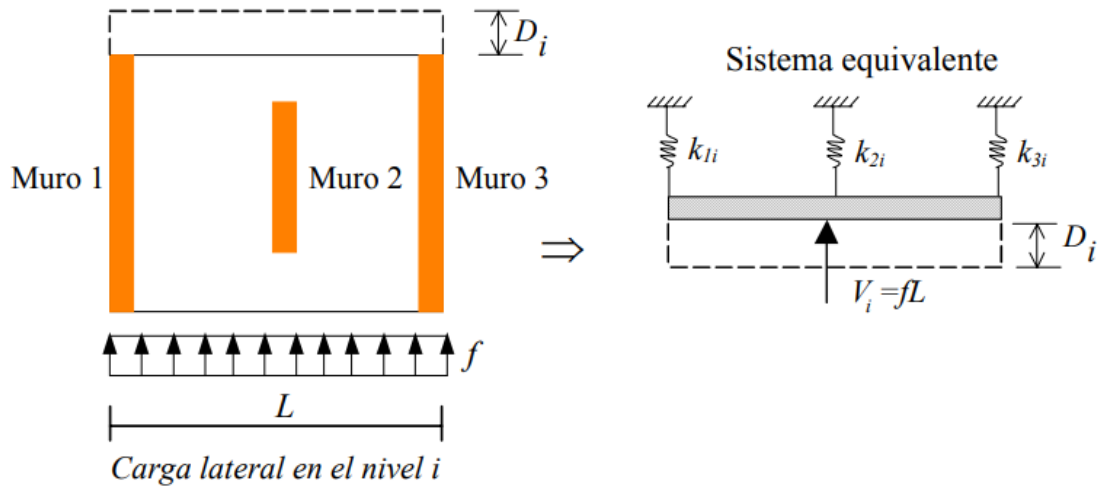


Figura 3.16 Distribución de fuerzas laterales en planta (Tena Colunga, Cano Licón, López Blancas, & Pérez Osornio, 2010)

Sin embargo, esta hipótesis no es válida para la mayoría de las estructuras en la actualidad, pues desprecia todo efecto producido por la torsión debido a la asimetría del sistema. Pero bajo la superposición de efectos es posible dividir el cortante total al que es sometida la estructura como se indica en la siguiente ecuación (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019):

$$V = V_d + V_t + 0.3V_{tp} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Donde  $V_d$  es el cortante directo,  $V_t$  es el cortante por torsión cuando el muro está en la dirección de análisis y  $V_{tp}$  es el cortante por torsión debido a sismo en el sentido perpendicular al muro.

$V_d$  puede obtenerse bajo la hipótesis de la figura 3.16 y  $V_t + 0.3V_{tp}$  se pueden obtener mediante un análisis por torsión que considere dicho efecto.

### 3.3.1. Cortante directo

Dado que el diafragma es rígido, todos los elementos se desplazarán la misma cantidad, por lo tanto, la fuerza cortante total de entrepiso, según la ley de Hooke, puede expresarse como:

$$V = \sum_j k_j u \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde al sustituir el desplazamiento  $u$  del elemento resistente  $i$  producido por el cortante en dicho elemento, se puede obtener que:

$$V = \sum_j k_j \frac{V_i}{k_i} = \frac{V_i}{k_i} \sum_j k_j \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Despejando el cortante  $V_i$  del elemento resistente  $i$ -esimo y del entrepiso  $j$ -esimo se obtiene:

$$V_i = \frac{k_i}{\sum_j k_j} V \quad \text{Ecuación 3.11}$$

A esta fuerza se le denomina cortante directo normalmente denotado por  $V_d$ .

### 3.3.2. Análisis por torsión

El efecto de torsión en una estructura produce cortantes adicionales en ambas direcciones, los cuales se deben tomar en cuenta en el diseño, para ello es necesario considerar la rigidez a torsión del entrepiso para determinar el cortante adicional.

#### **Rigidez a torsión del entrepiso**

La rigidez a torsión de un entrepiso puede calcularse suponiendo un diafragma rígido que gira cierta cantidad  $\theta$ , donde los elementos resistentes sufrirían

deformaciones en función de su rigidez a la torsión, como se muestra en la figura 3.17.

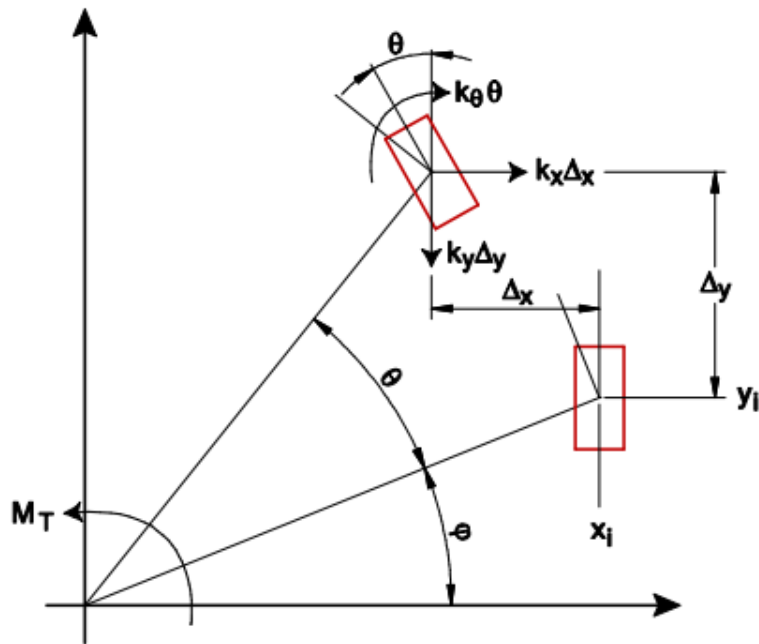


Figura 3.17 Elemento resistente de un entrepiso con un giro  $\theta$  (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019)

Suponiendo desplazamientos pequeños se pueden tomar momentos usando las posiciones de los elementos antes de la deformación, esto es:

$$M_T - \sum_i (k_{xi} \Delta_{xi} y_i + k_{yi} \Delta_{yi} x_i + k_\theta) = 0 \quad \text{Ecuación 3.12}$$

Donde:

$$\Delta_x = r \cos(\phi) - r \cos(\phi + \theta) \quad \text{Ecuación 3.13}$$

$$\Delta_y = r \sin(\theta + \phi) - r \sin(\phi) \quad \text{Ecuación 3.14}$$

$$x = r \cos \phi \quad \text{Ecuación 3.15}$$

$$y = r \sin \phi \quad \text{Ecuación 3.16}$$

$$M_T = K_\theta \theta \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Usando las identidades trigonométricas de la suma de ángulos y bajo la hipótesis de los ángulos pequeños se puede asumir que:  $\cos \theta \approx 1$  y  $\sin \theta = \theta$ . Al aplicar estas identidades y sustituir las ecuaciones 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 y 3.17 en la ecuación 3.12 se obtiene:

$$K_\theta = \sum_{i=1}^{Nm} (k_x y^2 + k_y x^2 + k_\theta)_i \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Si se desprecia la rigidez a torsión de los muros y la rigidez lateral perpendicular al plano del muro la ecuación 3.19 queda:

$$K_\theta = \sum_{i=1}^{Nmx} k_x y^2 + \sum_{i=1}^{Nmy} k_y x^2 \quad \text{Ecuación 3.19}$$

### **Cortante por torsión en muros paralelos a la dirección de análisis.**

El cortante por torsión que toma cada muro es proporcional al giro del entrepiso, siendo que:

$$V_{tx} = k_x \theta |y| = \frac{k_x |y|}{K_\theta} M_T = \frac{k_x |y|}{K_\theta} F_x |e_{dy}| \quad \text{Ecuación 3.20}$$

$$V_{ty} = k_y \theta |x| = \frac{k_y |x|}{K_\theta} M_T = \frac{k_y |x|}{K_\theta} F_y |e_{dx}| \quad \text{Ecuación 3.21}$$

Donde  $V_{tx}$  y  $V_{ty}$  son el cortante por torsión para muros en la dirección “x” y muros en dirección “y” respectivamente,  $|x|$  y  $|y|$  la distancia del muro al centro de

torsión,  $F_x$  y  $F_y$  son la fuerza sísmica por nivel obtenida del análisis sísmico y  $K_\theta$  es la rigidez a la torsión .

### **Excentricidad de diseño**

La excentricidad de diseño se compone de: la excentricidad estática  $e_s$ , amplificada por un factor correctivo para tomar en cuenta las posibles variaciones de la distribución de cargas, de las propiedades geométricas de los elementos y las propiedades mecánicas de los materiales y finalmente, de la excentricidad accidental  $e_a$  que considera otros factores como la componente rotacional del terreno, la diferencia de la llegada de las ondas sísmicas a los apoyos, etc.

Las NTC-DS 17 establecen que la excentricidad de diseño será la más desfavorable de los siguientes casos:

$$e_{dx,y} = \begin{cases} 1.5e_{sx,y} + e_{ax,y} \\ e_{sx,y} - e_{ax,y} \end{cases} \quad \text{Ecuación 3.22}$$

Cuando se considera el efecto simultaneo de la acción del sismo en el sentido perpendicular no es necesario sumar el efecto de la excentricidad accidental del análisis de ambas direcciones, solo se requiere considerar el efecto de la excentricidad accidental en el sentido del análisis que resulte más desfavorable (Normas Tecnicas Complementarias para diseño por sismo, 2017).

Donde el momento de torsión que se produce está dado por:

$$M_T = F e_d \quad \text{Ecuación 3.23}$$

### **Excentricidad estática**

Existen 2 definiciones de excentricidad estática (Cheung V. & Tso, 1986; Tso, 1990; Escobar, Mendoza S. & Gomez M., 2004) dependiendo de la posición donde se haga el análisis por torsión.

- **Excentricidad estática de piso**

La excentricidad estática se define según la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural como la distancia paralela a los ejes de referencia entre el centro de masas y el centro de torsión. Entonces la expresión para determinar dicha excentricidad es:

$$e_{sx} = X_{cmi} - X_{Ti} \quad \text{Ecuación 3.24}$$

$$e_{sy} = Y_{cmi} - Y_{Ti} \quad \text{Ecuación 3.25}$$

Donde  $X_{cmi}$  y  $Y_{cmi}$  son las coordenadas del centro de masas del i-esimo nivel o piso;  $X_{Ti}$  y  $Y_{Ti}$  son las coordenadas del centro de torsión del i-esimo nivel.

Centro de masas

El centro de masas es la posición promedio de las masas de un sistema (A. Serway & W. Jewett, 2008). Esto significa que, en un sistema con n masas existe un punto en el cual al aplicar una fuerza el sistema no rota, solamente se traslada (figura 3.18 c), si la fuerza se aplica por debajo de dicho punto el sistema rotará en una dirección en función del sentido de la fuerza (figura 3.18 b) y si se aplica por encima del punto el sistema rotará en sentido contrario (figura 3.18 a), este punto es el centro de masas.

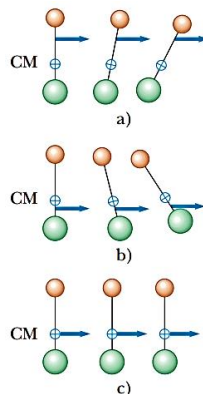


Figura 3.18 Posibles movimientos de un sistema en función de una fuerza y el centro de masas (A. Serway & W. Jewett, 2008)

Las coordenadas de la ubicación del centro de masas pueden determinarse con las siguientes expresiones:

$$X_{cmi} = \frac{\sum_j^n m_j x_j}{\sum_j^n m_j} \quad \text{Ecuación 3.26}$$

$$Y_{cmi} = \frac{\sum_j^n m_j y_j}{\sum_j^n m_j} \quad \text{Ecuación 3.27}$$

Donde  $X_{cmi}$  es la abscisa del centro de masas del i-esimo nivel y  $Y_{cmi}$  corresponde a la ordenada del mismo,  $m_j$  se refiere a la masa del elemento j-esimo del mismo nivel y  $x_j$  y  $y_j$  son la abscisa y ordenada del centroide del elemento resistente j-esimo en dicho nivel.

O bien utilizando los pesos en lugar de las masas:

$$X_{cmi} = \frac{\sum_j^n P_j x_j}{\sum_j^n P_j} \quad \text{Ecuación 3.28}$$

$$Y_{cmi} = \frac{\sum_j^n P_j y_j}{\sum_j^n P_j} \quad \text{Ecuación 3.29}$$

### Centro de torsión

El centro de torsión es el punto donde se sitúa la resultante de las fuerzas resistentes del entrepiso el cual, por equilibrio estático, de acuerdo a Meli, 2015.

La Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural presenta una expresión para determinar el centro de torsión utilizando los cortantes directos obtenidos según la ecuación 3.11:

$$X_{Tj} = \frac{\sum_i (V_{yi,j} - V_{yi,j-1}) x_i}{F_{yj}} \quad \text{Ecuación 3.30}$$

$$Y_{Tj} = \frac{\sum_i (V_{xi,j} - V_{xi,j-1}) y_i}{F_{xj}} \quad \text{Ecuación 3.31}$$

Donde  $V_{xi,j}$  y  $V_{yi,j}$  son los cortantes directos aplicados en el i-esimo elemento resistente del j-esimo nivel o piso, mientras que  $x_i$  y  $y_i$  son sus coordenadas con respecto al sistema de referencia.

En la figura 3.19 se observa la ubicación del centro de torsión.

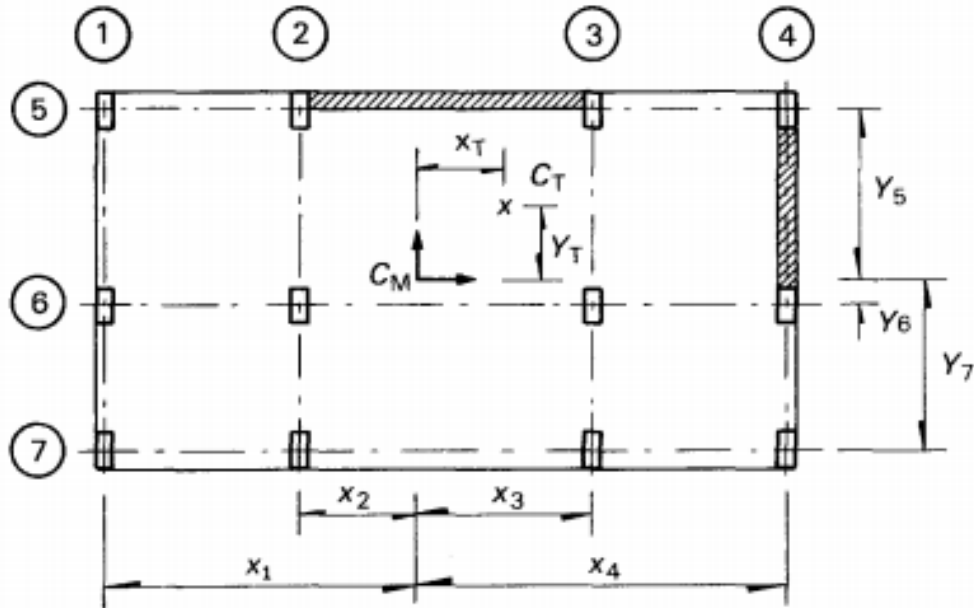


Figura 3.19 Ubicación del centro de torsión (Meli Piralla, 2015)

- **Excentricidad estática de entrepiso.**

Para esta definición la excentricidad estática se determina mediante el centro de cortante y el centro de rigideces, dada las siguientes expresiones:

$$e_{sx} = X_{CC} - X_{CR} \quad \text{Ecuación 3.32}$$

$$e_{sy} = Y_{CC} - Y_{CR} \quad \text{Ecuación 3.33}$$

Donde  $X_{CC}$  y  $Y_{CC}$  son las coordenadas del centro de cortante mientras que  $X_{CR}$  y  $Y_{CR}$  son las coordenadas del centro de rigidez.

### Centro de cortante

El centro de cortante es el punto en donde se estima la posición del cortante de entrepiso considerando el efecto del cortante en los niveles superiores y puede determinarse según la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural mediante las siguientes ecuaciones:

$$X_{CC} = \frac{\sum_{n=m}^j F_{yn} x_{CMn}}{V_{yj}} \quad \text{Ecuación 3.34}$$

$$Y_{CC} = \frac{\sum_{n=m}^j F_{xn} y_{CMn}}{V_{xj}} \quad \text{Ecuación 3.35}$$

Donde  $X_{CC}$  y  $Y_{CC}$  son las coordenadas del centro de cortante,  $F_{ym}$  y  $F_{xm}$  es la fuerza lateral debida al sismo en el n-esimo entrepiso,  $x_{CMn}$  y  $y_{CMn}$  son las coordenadas del centro de masas en el n-esimo entrepiso y por ultimo;  $V_{xj}$  y  $V_{yj}$  son los cortantes del j-esimo entrepiso.

### Centro de rigidez

Es el punto donde se sitúa la resultante de las fuerzas resistentes del entrepiso el cual, por equilibrio estático, de acuerdo a Meli, 2015 se determina con las siguientes ecuaciones:

$$X_{Ti} = \frac{\sum_i^n k_{iy} x_i}{\sum_i^n k_{iy}} \quad \text{Ecuación 3.36}$$

$$Y_{Ti} = \frac{\sum_i^n k_{ix} y_i}{\sum_i^n k_{ix}} \quad \text{Ecuación 3.37}$$

Donde  $k_{iy}$  y  $k_{ix}$  son la rigidez del elemento i-esimo paralelo a la dirección "y" y a la dirección "x" respectivamente,  $x_i$  es la abscisa del centroide del elemento i-esimo paralelo al eje "y" y  $y_i$  es la ordenada del elemento i-esimo paralelo al eje "x".

En la figura 3.20 se muestra la ubicación del centro de cortante y el centro de rigidez.

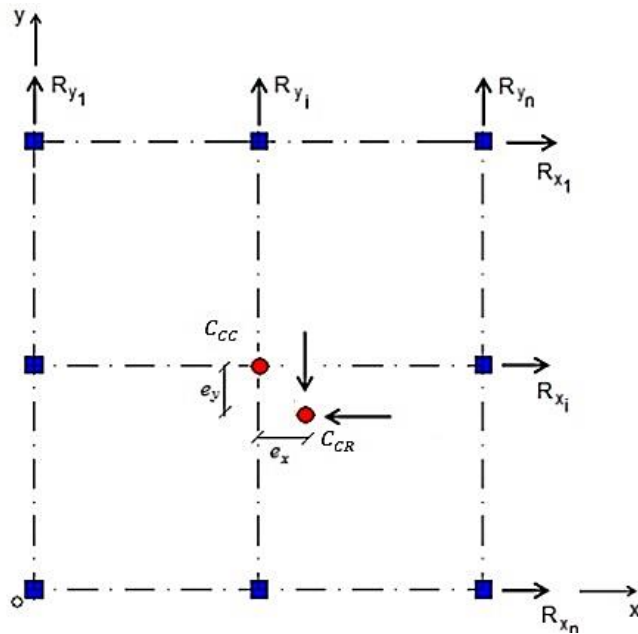


Figura 3.20 Centro de cortante y centro de rigidez (**Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019**)

Rigidez lateral de un muro

La rigidez lateral de un muro es la resistencia del muro a ser desplazado o deformado lateralmente debido a acciones en la dirección del muro.

En la figura 3.21 se presenta el modelo analítico utilizado para deducir el comportamiento de los elementos.

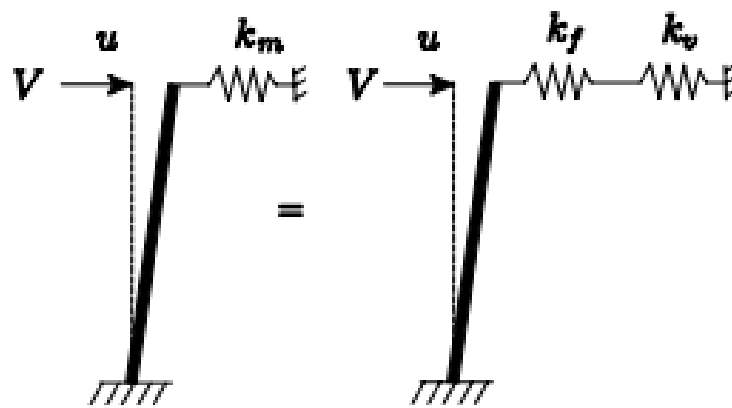


Figura 3.21 Modelo analítico para muros de mampostería (**Gavilán Pérez, 2011**)

Siguiendo la ley de Hooke, a partir del modelo de la figura 3.21 se tiene que:

$$u = \frac{V}{k_f} + \frac{V}{k_v} \quad \text{Ecuación 3.38}$$

Al dividir la ecuación 3.38 en el cortante  $V$  se obtiene:

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_f} + \frac{1}{k_v} \quad \text{Ecuación 3.39}$$

Invirtiéndolo las fracciones de la ecuación 3.39 se puede obtener una expresión para  $k_m$ :

$$k_m = \frac{k_f k_v}{k_f + k_v} \quad \text{Ecuación 3.40}$$

Donde la rigidez a flexión de la mampostería  $k_f$  está determinada por la ecuación 3.41 y la rigidez a cortante  $k_v$  por la ecuación 3.42 de acuerdo con la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

$$k_f = \frac{12EI}{(4 - 3\beta)H} \quad \text{Ecuación 3.41}$$

$$k_v = \frac{GA}{\alpha H} \quad \text{Ecuación 3.42}$$

Al sustituir las ecuaciones 3.41 y 3.42 en la expresión 3.40 se obtiene:

$$k_m = \frac{\left(\frac{12EI}{(4 - 3\beta)H}\right) \left(\frac{GA}{\alpha H}\right)}{\left(\frac{12EI}{(4 - 3\beta)H}\right) + \left(\frac{GA}{\alpha H}\right)} \quad \text{Ecuación 3.43}$$

Al realizar las operaciones algebraicas se tiene que:

$$k_m = \frac{12EIGA}{12EI\alpha H + GA(4 - 3\beta)H} \quad \text{Ecuación 3.44}$$

Si se invierte la ecuación 3.44 y se separan las fracciones:

$$k_m^{-1} = \frac{(4 - 3\beta)H}{12EI} + \frac{\alpha H}{GA} \quad \text{Ecuación 3.45}$$

Finalmente, si se invierte de nuevo la ecuación resultante se puede obtener una expresión para determinar la rigidez lateral de un muro de mampostería que considere los desplazamientos de los muros por flexión y por cortante:

$$K_m = \left[ \frac{(4 - 3\beta)H^3}{12EI} + \frac{\alpha H}{GA} \right]^{-1} \quad \text{Ecuación 3.46}$$

Donde:

$H$  es la altura del muro.

$E$  es el módulo de elasticidad de la mampostería.

$G$  es el módulo de cortante de la mampostería.

$A$  es el área de cortante del muro dada por:  $A = LH$ .

$L$  es la longitud del muro.

$I$  es el momento de inercia de la sección del muro de mampostería.

$\alpha$  es un factor geométrico de corrección del área total por cortante.

$\beta$  es un coeficiente en función de las condiciones de frontera del muro igual a 0 para voladizo e igual a 1 para muros doblemente empotrados.

#### Momento de inercia de un muro de mampostería:

Flores, 1955 propone considerar solo la contribución de los castillos externos para el cálculo del momento de inercia utilizado en el cálculo de la rigidez lateral del muro. Sin embargo, para el caso de muros largos o con una relación modular  $n$  pequeña, la inercia de la mampostería se hace importante. Una situación más conservadora y sencilla la propone Tomasevic en 1999 al no considerar necesario incluir la aportación de los castillos en la rigidez lateral del muro. También existen

casos en los que la cantidad y dimensión de estos elementos es importante, siendo que al no tenerlo en cuenta puede llevar a predicciones alejadas de la realidad (Sandoval, 2005). Por tanto, la inercia de una sección de muro de mampostería será:

$$I_T = I_m + I_c + I_a \quad \text{Ecuación 3.47}$$

Donde  $I_m$  es el momento de inercia que aporta la mampostería a la sección y está dado por:

$$I_m = \frac{tL^3}{12} \quad \text{Ecuación 3.48}$$

Siendo  $t$  es espesor del muro y  $L$  es la longitud.

$I_c$  es el momento de inercia que aportan los castillos y se determina haciendo la transformación de la sección de concreto a mampostería de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I_c = n \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{b_i^3}{12} + b_i d_i \right) \right] t \quad \text{Ecuación 3.49}$$

Donde  $n = \frac{E_c}{E_m}$ ,  $E_c$  es el módulo de elasticidad del concreto de los castillos,  $E_m$  es el módulo de elasticidad de la mampostería,  $t$  es el espesor del muro,  $b_i$  la longitud de los castillos y  $d_i$  la distancia del centroide del castillo al centroide del muro.

Y por ultimo  $I_a$  es el momento de inercia que aporta el acero de refuerzo, el cual suele despreciarse debido a su poca contribución en comparación con el resto de los materiales, por lo que de manera conservadora puede asumirse un valor de 0.

Al igual que para el método de columna ancha Tavera propone corregir el área de cortante mediante el uso del factor  $k$  expresado en la ecuación 3.2.

## Excentricidad accidental

La excentricidad accidental es el desplazamiento de la fuerza cortante que actúa en cada nivel obtenido al incluir un momento de torsión adicional, la cual normalmente se considera como un porcentaje de la dimensión máxima perpendicular a la dirección de análisis, dada por:

$$e_a = \alpha B \quad \text{Ecuación 3.50}$$

$$\alpha = 0.05 + \frac{(i - 1)}{n - 1} 0.05 \quad \text{Ecuación 3.51}$$

Donde B es la dimensión máxima en planta del i-esimo entepiso y n es el número total de entepisos. Para todo caso en que  $i = n$ ,  $\alpha = 0.10$ .

El caso más desfavorable de la excentricidad de diseño se determinará en función de la clasificación de muros según sea el caso.

## Clasificación de muros

Un muro es flexible si esta del mismo lado que el centro de masas con respecto al centro de torsión, en caso contrario se considera rígido, es decir:

$$\text{sign } x = \text{sign} (X_{CM} - X_{CT}) \quad \text{Ecuación 3.52}$$

Donde  $\text{sign } x = 1$  si  $x \geq 0$  y  $\text{sign } x = -1$  si  $x < 0$ ;  $x$  es la posición del muro respecto al centro de torsión y  $X_{CM}$  y  $X_{CT}$  son las abscisas del centro de masas y centro de torsión, respectivamente, referidas a un sistema coordenado cualquiera, siempre que  $x$  sea la dirección horizontal.

En la figura 3.22 se muestra una planta con únicamente muros paralelos a la dirección de análisis, donde se indican los muros flexibles con una “f” y los muros rígidos con una “r” en función de las posiciones relativas con los centros de masas y de torsión.

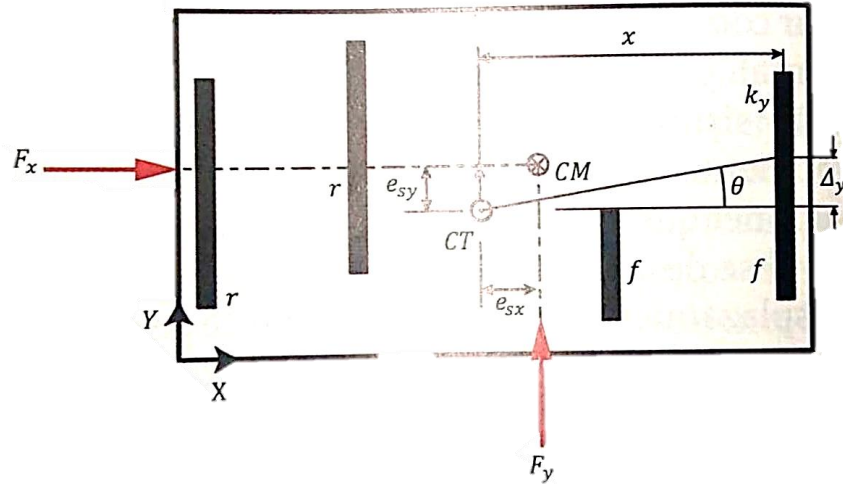


Figura 3.22 Clasificación de muros para determinar la excentricidad de diseño más desfavorable (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019)

Considerando la clasificación de los muros; la excentricidad de diseño para los muros paralelos al eje “y” se determina de acuerdo a la ecuación 3.53 y de acuerdo a la ecuación 3.54 para los muros paralelos al eje “x”:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Flexibles: } e_{ax} = 1.5|e_{sx}| + \alpha B_x \\ \text{Rígidos: } \begin{cases} 0 & \text{si } |e_{sx}| > \alpha \beta_x \\ \alpha \beta_x - |e_{sx}| & \text{si } |e_{sx}| \leq \alpha \beta_x \end{cases} \end{array} \right. \quad \text{Ecuación 3.53}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Flexibles: } e_{ay} = 1.5|e_{sy}| + \alpha B_y \\ \text{Rígidos: } \begin{cases} 0 & \text{si } |e_{sy}| > \alpha \beta_y \\ \alpha \beta_y - |e_{sy}| & \text{si } |e_{sy}| \leq \alpha \beta_y \end{cases} \end{array} \right. \quad \text{Ecuación 3.54}$$

### Cortante por torsión en muros paralelos a la dirección de análisis.

De acuerdo con las NTC-DS 17, se debe considerar en forma simultanea el 30% de los efectos de sismo en la dirección perpendicular. Si el sentido del sismo se invierte, los efectos en los muros también se invierten, por lo que la condición más desfavorable siempre estará dada por:

$$e_s = 1.5|e_s| + \alpha B \quad \text{Ecuación 3.55}$$

### Cortante total.

Si se reescribe la ecuación 3.8, el cortante total para los muros paralelos a “x” estará dado por:

$$V = \frac{k_x}{\sum_i k_{xi}} F_x + \frac{k_x |y|}{K_\theta} (F_x e_{dy} + 0.3 F_y e_{dx}) \quad \text{Ecuación 3.56}$$

Mientras que el cortante total de los muros paralelos a “y” se determinara por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{k_y}{\sum_i k_{yi}} F_y + \frac{k_y |x|}{K_\theta} (F_y e_{dx} + 0.3 F_x e_{dy}) \quad \text{Ecuación 3.57}$$

Por lo tanto, el cortante total actuante considerando la excentricidad máxima accidental para muros en “x” está dado por la ecuación 3.58 y 3.59:

*Para muros flexibles*

$$V = \frac{k_x}{\sum_i k_{xi}} + \frac{k_x |y|}{K_\theta} \left[ 1.5 F_x e_{sy} + (0.3)(1.5 F_y e_{sx}) + \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha B_y F_x \\ 0.3 \alpha B_x F_y \end{array} \right\} \right] \quad \text{Ecuación 3.58}$$

*Para muros rígidos*

$$V = \frac{k_x}{\sum_i k_{xi}} + \frac{k_x |y|}{K_\theta} \left[ (0.3)(1.5 F_y e_{sx}) + \max \left\{ \begin{array}{ll} (\alpha B_y - e_{sy}) & \text{si } e_{sy} < \alpha B_y \\ 0.3 \alpha B_x F_y & \text{sino } 0 \end{array} \right\} \right] \quad \text{Ecuación 3.59}$$

Mientras que el cortante total actuante considerando la excentricidad máxima accidental para muros en “y” está dado por la ecuación 3.60 y 3.61:

*Para muros flexibles*

$$V = \frac{k_y}{\sum_i k_{yi}} + \frac{k_y |x|}{K_\theta} \left[ 1.5 F_y e_{sx} + (0.3)(1.5 F_x e_{sy}) + \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha B_x F_y \\ 0.3 \alpha B_y F_x \end{array} \right\} \right] \quad \text{Ecuación 3.60}$$

*Para muros rígidos*

$$V = \frac{k_y}{\sum_i k_{yi}} + \frac{k_y |x|}{K_\theta} \left[ (0.3)(1.5 F_x e_{sy}) + \max \left\{ \begin{array}{ll} (\alpha B_x - e_{sx}) & \text{si } e_{sx} < \alpha B_x \\ 0.3 \alpha B_y F_x & \text{sino } 0 \end{array} \right\} \right] \quad \text{Ecuación 3.61}$$

Las Ecuaciones 3.58, 3.59, 3.60 y 3.61 permiten determinar las acciones laterales para revisar cada elemento según las NTCM-17.

### 3.4. Normas técnicas complementarias para el diseño de estructuras de mampostería de la ciudad de México (NTC-17)

Las normas técnicas complementarias son el reglamento oficial que rigen los procedimientos de cálculo y construcción de las estructuras de diversos materiales en gran parte de la república mexicana. En este subcapítulo se transcribirán los apartados de dicha norma que competen en la operatividad del software los cuales se enlistan a continuación:

- Capítulo 3. Especificaciones generales de análisis y diseño.
- Capítulo 5. Mampostería confinada

#### Especificaciones generales de análisis y diseño.

##### *Criterios de diseño.*

Las normas técnicas complementarias indican en su capítulo 3.1 que el dimensionamiento de los elementos estructurales debe regirse por los estados límite de falla y servicio.

##### *Factores de resistencia*

Muro	Muros sometidos a carga axial	Muros sometidos a flexocompresión con $P_u \leq P_R/3$	Muros sometidos a flexocompresión con $P_u > P_R/3$	Muros sometidos a cortante
Confinado	0.6	0.8	0.6	0.7
Reforzado interiormente	0.6	0.8	0.6	0.7
Diafragma	0.6	-	-	0.7
Sin refuerzo	0.3	0.3	0.3	0.4

Tabla 3.3 Factores de resistencia para mampostería (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017)

### *Resistencia de la mampostería a cargas laterales*

La fuerza cortante que resiste la mampostería, se basa en el esfuerzo cortante resistente de diseño que es proporcional a la resistencia a compresión diagonal,  $v'm$ .

### *Revisión del cortante resistente de entrepiso*

Se verificara que la resistencia a cortante de cada entrepiso  $V_{Ri}$ , calculada para cada una de las 2 direcciones ortogonales de análisis sea mayor que el 80% de la fuerza cortante de diseño en el i-esimo entrepiso  $V_{ui}$ .

$$V_{Ri} \geq 0.8V_{ui} \quad \text{Ecuación 3.62}$$

### *Cortante de diseño de entrepiso*

La fuerza cortante que actúa en un entrepiso se obtendrá como la suma de las fuerzas sísmicas  $F_i$ , arriba de dicho entrepiso, calculadas de acuerdo con el método estatico multiplicadas por el factor de carga correspondiente.

### *Resistencia a corte de entrepiso*

La resistencia a corte de cada entrepiso en cada dirección de análisis debe evaluarse con la siguiente expresión:

$$V_{Ri} = F_R(0.5v'm + 0.3\sigma_i + \eta\rho_h f_{yh}) \sum A_T \quad \sigma_i \leq 3.33v'm \quad \text{Ecuación 3.63}$$

Donde:

$\sum A_T$  es la suma de las áreas transversales de los muros en la dirección de análisis

$\sigma_i$  es el esfuerzo normal promedio en los muros del i-esimo entrepiso

$$\sigma_i = \frac{W_{i+1}}{(\sum A_T)_i} \quad \text{Ecuación 3.64}$$

$W_{i+1}$  es el peso total del entrepiso superior al i-esimo entrepiso

$F_R$  es el factor de reducción para cortante

$v'm$  es el esfuerzo a cortante que soporta la mampostería

$\eta$  es la eficiencia del acero de refuerzo

$\rho_h$  es la cuantía del acero de refuerzo horizontal

$f_{yh}$  es la cuantía del acero de refuerzo horizontal

Es importante mencionar que el producto  $\rho_h f_{yh}$  no será mayor que  $0.1 f_{an} f'_m$  para muros confinados o  $0.1 f_{nm} f'_m$  para muros reforzados interiormente.

Cuando existan muros de concreto se deberá incluir su resistencia de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_{Ri} = \left[ F_R (0.5 v'm + 0.3 \sigma_i + \eta \rho_h f_{yh}) \sum A_T \right]_{mamposteria} + \alpha \left[ F_R (0.5 \sqrt{f'_c} + \rho_m f_y) \sum A_{cm} \right]_{concreto} \quad \text{Ecuación 3.65}$$

Donde:

$\alpha$  es un factor que puede tomar el valor de 0.8

$F_R$  es el factor de reducción para muros de concreto que debe tomar el valor de 0.75

$f'_c$  es la resistencia a compresión del concreto

$\rho_m$  es la cuantía de refuerzo del muro de concreto

$$\rho_m = \frac{A_{vm}}{(s_m t)} \geq 0.0025 \quad \text{Ecuación 3.66}$$

$f_y$  es el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo del muro de concreto

$\Sigma A_{cm}$  es la suma de las áreas transversales de los muros de concreto

$A_{vm}$  es el área del acero horizontal del muro de concreto

$s_m$  es la separación del refuerzo, no mayor a 35 cm.

$t$  es el espesor del muro de concreto

#### *Factor de comportamiento sísmico*

Se usará el factor de comportamiento sísmico especificado de acuerdo a la siguiente tabla:

<b>Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería</b>		
<b>Tipo de muros</b>	<b>Q</b>	<b><math>\gamma_{max}</math></b>
<b>Muros confinados con piezas macizas y refuerzo horizontal</b>	2	0.010
<b>Muros confinados con piezas macizas</b>	2	0.005
<b>Muros confinados con piezas huecas y refuerzo horizontal</b>	2	0.008
<b>Muros confinados con piezas huecas</b>	1.5	0.004
<b>Muros reforzados interiormente</b>	1.5	0.006
<b>Muros diafragma</b>	Valor de Q de los marcos	De acuerdo al tipo de pieza
<b>Muros combinados con otro sistema estructural</b>	Valor de Q de los marcos	De acuerdo al tipo de pieza
<b>Muros no confinados ni reforzados</b>	1	0.002
<b>Muros de piedra naturales</b>	1	0.002

Tabla 3.4 Factor de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería (Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo, 2017)

#### *Distorsión lateral inelástica*

Se revisara que la distorsión lateral inelástica,  $\gamma_{li}$ , calculada con el conjunto de fuerzas horizontales reducidas,  $\gamma_{tr}$ , multiplicada por el factor de comportamiento sísmico Q y el factor de sobrerresistencia R obtenidos de acuerdo a los capítulos 4

y 3 de las NTC-DS17 no exceda el valor correspondiente de  $\gamma_{max}$  mostrado en la tabla anterior.

$$\gamma_{li} = \gamma_{tr}QR \leq \gamma_{max} \quad \text{Ecuación 3.67}$$

#### *Métodos de análisis*

La determinación de las fuerzas y momentos internos en los muros se hará, en general, por medio de un análisis elástico de primer orden. En la determinación de las propiedades elásticas de los muros deberá considerarse que la mampostería no resiste tensiones en dirección normal a las juntas y se deberá emplear, por tanto, las propiedades de las secciones agrietadas y transformadas cuando dichas tensiones aparezcan.

#### *Fuerzas y momentos de diseño*

Sera admisible determinar las cargas verticales que actúan sobre los muros mediante una bajada de cargas por áreas tributarias. Para el diseño solo se tomarán en cuenta los momentos flexionantes siguientes:

- a) Los momentos flexionantes que deben ser resistidos por condiciones de estática y que no pueden ser redistribuidos por la rotación del nudo, como son los debidos a un voladizo que se empotre en el muro y los debidos a empujes, de viento o sismo, normales al plano del muro.
- b) Los momentos flexionantes debidos a la excentricidad con que se transmite la carga de la losa del piso inmediatamente superior en muros extremos; tal excentricidad,  $e_c$ , se tomará igual a:

$$e_c = \frac{t}{2} - \frac{b}{3} \quad \text{Ecuación 3.68}$$

donde:

$t$ = Es el espesor de la mampostería del muro

$b$ = Es el ancho de la longitud de apoyo de una losa soportada por el muro

Lo anterior se describe en la siguiente figura:

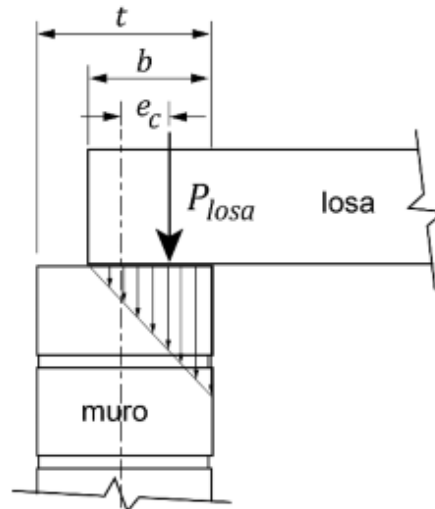


Figura 3.23 Excentricidad de la carga vertical en muros extremos (**Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017**)

Para tomar en cuenta los efectos de esbeltez y excentricidad de las cargas axiales de los muros de acuerdo a las NTC-DM17 se permite determinar un factor de reducción  $F_E$ , haciendo consideraciones respecto a la posición de los muros respecto a la estructura, la longitud de los claros colindantes y la relación de aspecto  $\frac{H}{L}$ .

#### *Análisis por cargas laterales*

Para determinar las fuerzas y momentos internos que actúan en los muros, las estructuras de mampostería se podrán analizar mediante métodos dinámicos o estáticos que cumplan con el capítulo 2 de las NTC-DS17.

### **Mampostería confinada**

#### *Castillos y dalas*

Los castillos y dalas deben cumplir con lo indicado en la siguiente figura:

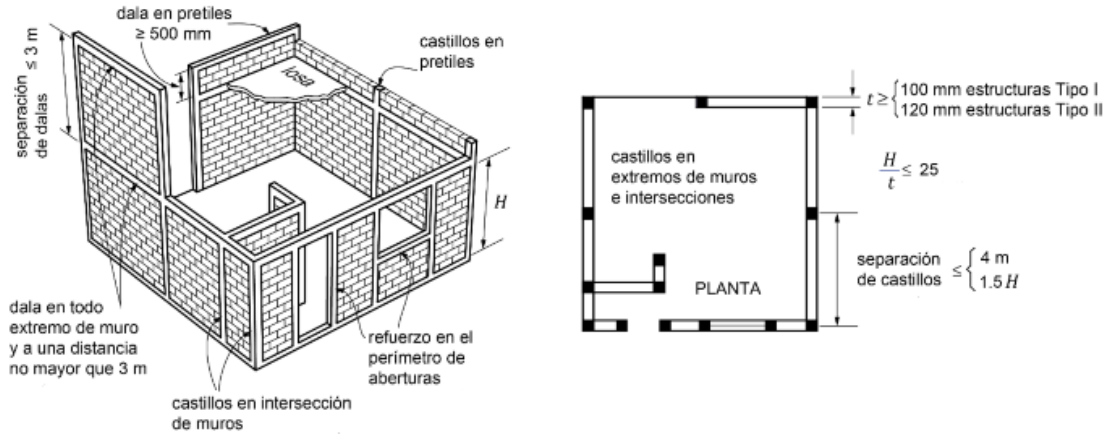


Figura 3.24 Requisitos de mampostería confinada (**Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017**)

Deberán existir castillos en los extremos, intersecciones con otros muros y esquinas y en puntos intermedios a una separación no mayor a  $1.5H$  ni 4 m.

Una dala debe colocarse en los extremos horizontales del muro salvo aquellos que esté ligado a un elemento de concreto cuyo peralte sea de al menos 100 mm.

Los castillos y dalas tendrán como dimensión mínima el espesor de la mampostería del muro  $t$ , en el caso de los castillos, la dimensión paralela al muro no será menor que 150 mm.

El concreto de castillos y dalas de muros interiores y exteriores en ambientes no agresivos tendrá una resistencia a la compresión  $f'_c$ , no menor que  $150 \text{ kg/cm}^2$

El refuerzo longitudinal del castillo deberá dimensionarse para resistir las componentes, vertical y horizontal, correspondientes del puntal de compresión que se desarrolla en la mampostería para resistir cargas laterales y verticales, formado por 4 barras cuya área total será al menos la obtenida por la siguiente expresión:

$$A_s = 0.2 \frac{f'_c}{f_y} b_c h_c \quad \text{Ecuación 3.69}$$

El refuerzo longitudinal del castillo será anclado en elementos que limitan al muro de manera que pueda alcanzarse el esfuerzo de fluencia

Los castillos y dalas estarán reforzados transversalmente por estribos cerrados y con un área determinada por la siguiente ecuación:

$$A_{sc} = \frac{1000s}{f_y h_c} \quad \text{Ecuación 3.70}$$

La separación de los estribos no deberá ser mayor a  $1.5t$  ni a 200 mm.

En estructuras de tipo II, se suministrara refuerzo transversal con el área igual a la calculada con la ecuación 3.70 con una separación no mayor a  $\frac{H}{6}$  ni 400 mm.

Se admite el uso de estribos “vuelta un cuarto” con el fin de facilitar la colocación del concreto.

Lo anterior se ilustra en la siguiente figura:

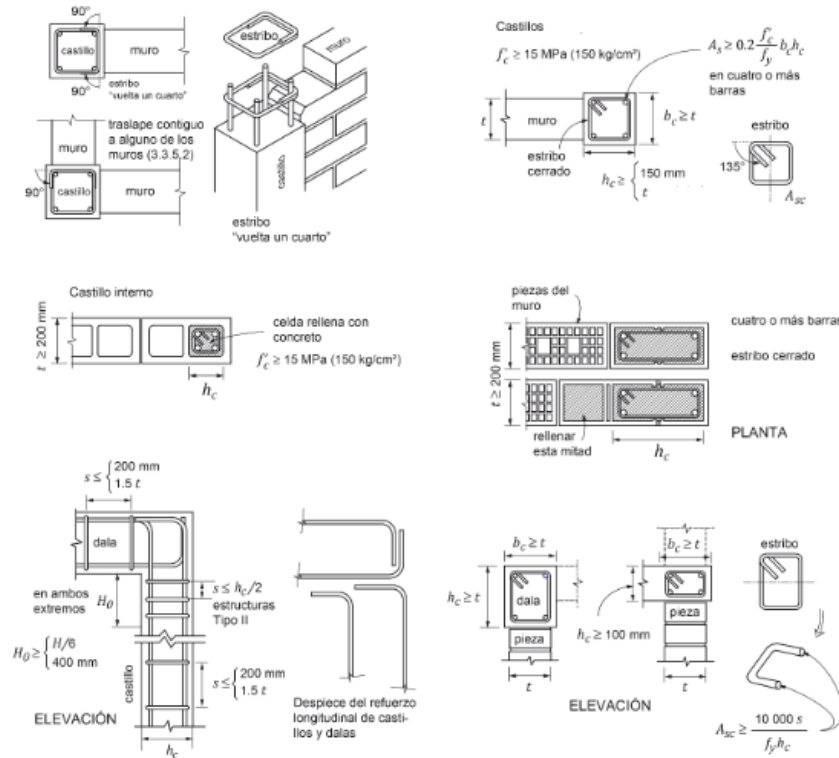


Figura 3.25 Castillos y dalas (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017)

En las estructuras Tipo I el espesor de los muros de mampostería,  $t$ , no será menor que 100 mm., ni que 120 mm. En estructuras Tipo II. En ningún caso la relación de aspecto,  $\frac{H}{t}$ , excederá de 25.

### *Fuerzas y momentos de diseño*

La resistencia ante cargas verticales y laterales de un muro de mampostería deberá revisarse para efecto de carga axial, la fuerza cortante y momentos flexionantes en su plano y, cuando proceda, momentos flexionantes normales a su plano principal de flexión.

En la revisión de cargas laterales solo se considerará la participación de muros cuya longitud sea sensiblemente paralela a la dirección de análisis.

### *Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro*

La carga vertical resistente se determina según la siguiente expresión:

$$P_R = F_R F_E \left( f'_m A_T + \sum A_s f_y \right) \quad \text{Ecuación 3.71}$$

### *Resistencia a flexocompresión en el plano del muro*

Para muros con barras longitudinales colocadas simétricamente en sus castillos extremos, sean estos externos o internos, las formulas simplificadas dan valores aproximados y conservadores del momento flexionante resistente de diseño.

El momento flexionante resistente de diseño se obtiene de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$M_R = F_R M_0 + 0.3 P_u d \quad \text{si } 0 \leq P_u \leq \frac{P_R}{3} \quad \text{Ecuación 3.72}$$

$$M_R = (1.5 F_R M_0 + 0.15 P_R d) \left( 1 - \frac{P_u}{P_R} \right) \quad \text{si } P_u > \frac{P_R}{3} \quad \text{Ecuación 3.73}$$

Donde:

$M_0$  Es la resistencia a flexión pura del muro dada por la siguiente ecuación:

$$M_0 = A_S f_y d' \quad \text{Ecuación 3.74}$$

$A_S$  Es el área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en cada uno de los castillos extremos del muro

$d'$  Es la distancia entre centroides del acero colocado en ambos extremos del muro

$d$  Es la distancia entre el centroide del acero en tensión y la fibra a compresión máxima

$P_u$  Es la carga axial de diseño a compresión, cuyo valor se tomará con signo positivo

$F_R$  Es el factor de reducción que será igual a 0.8 si  $P_u \leq \frac{P_R}{3}$  sino será igual a 0.6

A continuación, se muestra el diagrama de interacción carga axial-momento flexionante elaborado con las ecuaciones anteriores

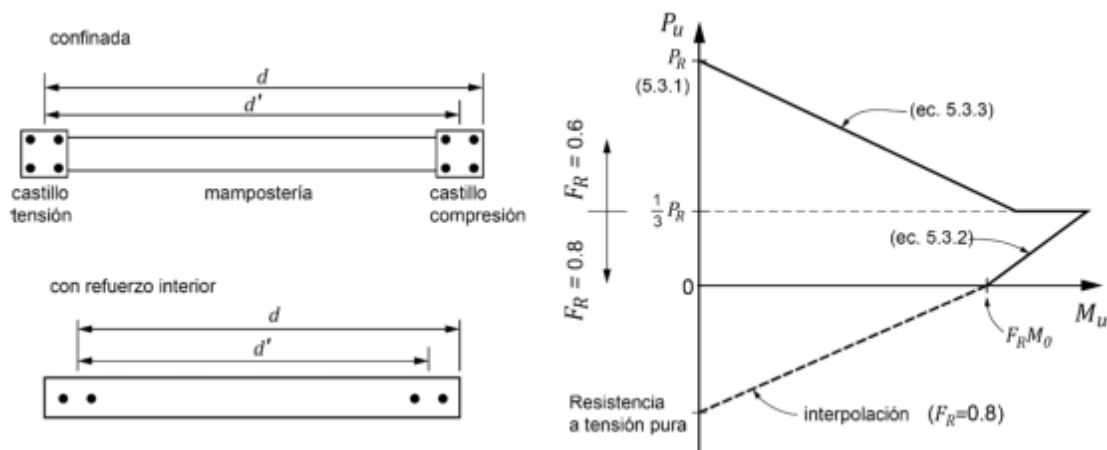


Figura 3.26 Diagrama de interacción carga axial-momento flexionante resistente de diseño con el método optativo (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2017)

### Resistencia a cargas laterales

La resistencia a cargas laterales será proporcionada por la mampostería y se aceptará considerar la parte de la fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal o malla de alambre electro soldado de modo que:

$$V_R = V_{mR} + V_{sR} \quad \text{Ecuación 3.75}$$

Cuando la carga vertical que actuar sobre el muro sea de tensión se aceptara que el acero de refuerzo horizontal o mallas de alambre electrosoldado resistan la totalidad de la carga lateral.

No se considerará incremento alguno de la fuerza cortante resistente por efecto de las dalas y castillos de los muros confinados.

La fuerza cortante resistida por la mampostería se calculará con la siguiente expresión

$$V_{mR} = F_R[(0.5v'_m A_T + 0.3P) \cdot f] \leq 1.5F_R v'_m A_T f \quad \text{Ecuación 3.76}$$

Donde:

$A_T$  es el área transversal del muro incluyendo los castillos, pero sin transformar su área transversal

$P$  es el menor de la carga axial de compresión en el muro

$f$  es un factor en función de la relación de aspecto del muro  $\frac{H}{L}$  dado por la siguiente expresión:

$$f = \begin{cases} 1.5 & \text{si } \frac{H}{L} \leq 0.2 \\ 1.0 & \text{si } \frac{H}{L} \geq 1.0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 3.77}$$

Para los casos intermedios de  $\frac{H}{L}$ , se interpolara linealmente.

### *Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal*

Se permite el uso de acero de refuerzo horizontal colocado entre las juntas de mortero para resistir las fuerzas cortantes. El refuerzo consistirá de barras corrugadas o alambres corrugados laminados en frío que sean continuos a lo largo del muro.

No se permite el uso de armaduras planas de alambres de acero soldados por resistencia eléctrica para resistir fuerza cortante inducida por sismo.

El esfuerzo de diseño  $f_{yh}$  no será mayor que 6000 kg/cm<sup>2</sup>.

La separación máxima del acero de refuerzo no será mayor que 4 hiladas ni 450 mm.

El producto de la cuantía mínima del acero de refuerzo horizontal se determina por la siguiente expresión:

$$\rho_{hmin} = \frac{3}{f_{yh}} \quad \text{Ecuación 3.78}$$

Y el límite máximo de la cuantía se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_{hmax} = \frac{0.05h_j f_{yh}}{s_h} \quad \text{Ecuación 3.79}$$

La fuerza resistente debida al refuerzo horizontal,  $V_{SR}$ , se calculara con:

$$V_{SR} = F_R \eta \rho_h f_{yh} A_T \quad \text{Ecuación 3.80}$$

El valor de  $\eta$  se determinara como sigue:

$$\eta = \frac{V_{SR}}{F_R \rho_h f_{yh} A_T} (k_0 k_1 - 1) + \eta_s \quad \text{Ecuación 3.81}$$

Donde:

$$\rho_h = \frac{A_{sh}}{s_h t} \quad \text{Ecuación 3.82}$$

$$k_0 = \begin{cases} 1.3 \text{ si } \frac{H}{L} \leq 1.0 \\ 1.0 \text{ si } \frac{H}{L} \geq 1.5 \end{cases} \quad \text{Ecuación 3.83}$$

$$k_1 = 1 - \alpha \rho_h f_{yh} \quad \text{Ecuación 3.84}$$

$$\eta_s = \begin{cases} 0.75 \text{ si } f'_m \geq 90 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.55 \text{ si } f'_m \leq 60 \frac{kg}{cm^2} \end{cases} \quad \text{Ecuación 3.85}$$

El valor de  $k_1$  no será menor que  $(1 - 0.1 f_{an} f'_m \alpha)$ .

Para casos intermedios de  $\frac{H}{L}$  y  $f'_m$  se interpolara linealmente para obtener los valores de  $k_0$ ,  $\eta_s$  respectivamente;  $\alpha = 0.045 \left(\frac{kg}{cm^2}\right)^{-1}$ .

Cuando el valor de  $\rho_h f_{yh} > 0.1 f_{an} f'_m$ , el valor de  $\eta_s$  se multiplicara por  $\frac{0.1 f_{an} f'_m}{\rho_h f_{yh}}$ .

Procedimiento optativo para calcular la resistencia a corte en estructuras Tipo I

La fuerza cortante de diseño de  $V_{mR}$ , se determinara como sigue:

$$V_{mR} = F_R(0.5 v'_m A_T + 0.3 P) \leq 1.5 F_R v'_m A_T \quad \text{Ecuación 3.86}$$

Donde:

$A_T$  es el área transversal del muro incluyendo los castillos, pero sin transformar su área transversal

$P$  es el menor de la carga axial de compresión en el muro

La fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal se calculará como:

$$V_{SR} = F_R \eta \rho_h f_{yh} A_T \quad \text{Ecuación 3.87}$$

Donde  $\eta$  se calculara como:

$$\eta = k_1 \eta_s \quad \text{Ecuación 3.88}$$

## CAPITULO 4. PROGRAMA EN C#

En los siguientes temas se describe cada uno de los botones, opciones y ventanas del programa desarrollado, así como el funcionamiento y operación del mismo. El entorno del software se mantiene sencillo, amigable y transparente en resultados haciendo su uso, práctico, sencillo y completo.

### 4.1. Interfaz principal

Al ejecutar el programa se muestra una animación de espera mientras inician los procesos de arranque.



Figura 4.1 Animación de espera. Fuente: Autoría propia (2021)

Posteriormente se presenta una pantalla inicial denominada “Definición general” dedicada al ingreso de la información del proyecto a analizar, como son: “Nombre del cliente”, “Nombre del proyecto”, “Reglamento”, “Fecha”, “Grupo de la estructura”, “Niveles”, “Superficie”, “Uso”, “Tipo de análisis” y “Ubicación”. Toda la información introducida en esta pantalla le permite al software determinar el tipo de edificación que será para considerarlo en los respectivos pasos del diseño.

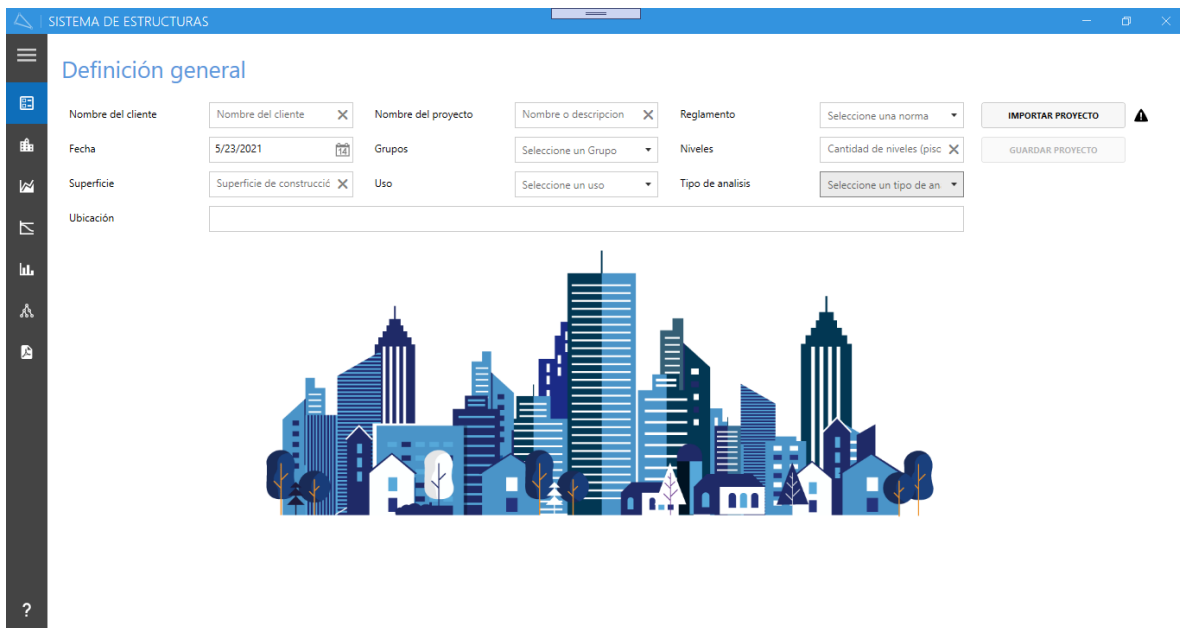


Figura 4.2 Pantalla de "Definición general" (Pantalla inicial). Fuente: Autoría propia (2021)

Al costado derecho se observan 2 botones; el primero: "Importar proyecto", tiene la función de retomar la información de un proyecto generado y guardado con anterioridad permitiendo hacer modificaciones que pudieran surgir en el futuro; el segundo: "Guardar proyecto" es habilitado una vez que la información es ingresada, esto permite generar un archivo de extensión .xml para almacenar la información del proyecto.

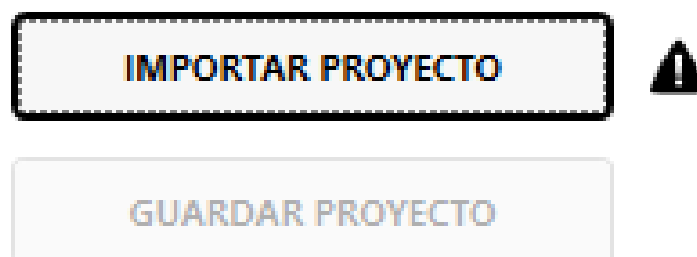


Figura 4.3 Botones para crear o importar proyectos. Fuente: Autoría propia (2021)

En el costado izquierdo de la pantalla principal se muestra un menú gráfico con íconos que permite una libre navegación entre los principales pasos del proceso de análisis y diseño de la estructura. En la parte superior del menú se muestra un ícono ≡ que amplía el área del menú permitiendo observar la descripción de cada opción.

La primera opción es la descripción general del proyecto, la cual corresponde a la pantalla inicial antes descrita.

## 4.2. Definición de la estructura.

La segunda opción es la definición de la estructura, la cual muestra una pantalla similar a la anterior con 3 botones en la parte superior y las listas desplegables por nivel que tendrá la estructura.



Figura 4.4 Definición de la estructura. Fuente: Autoría propia (2021)

El primer botón “Iniciar registro” abre una ventana que permite registrar cada muro de cada nivel de la estructura y la información de estos tal como: “Material”, “Área tributaria”, “Longitud”, “Altura”, “Espesor”, “Coordenadas” y “Resistencia a compresión del castillo”. Los materiales posibles a utilizar son Tabique rojo recocido de la región del sureste, común en el estado de Veracruz, piezas industrializadas, block macizo de concreto y concreto armado.

Muros horizontales		Muros verticales	
NIVEL	1	Muros registrados	4
Material	<input type="text"/>		
Area tributaria(m2)	<input type="text"/>	Longitud(m)	<input type="text"/>
Altura(m)	<input type="text"/>	Espesor(m)	<input type="text"/>
Cordenadas en Y (m)	<input type="text"/>	Cordenadas en X (m)	<input type="text"/>
Resistencia a compresión de concreto de castillos	<input type="text"/>		

Figura 4.5 Ventana de registro de muros. Fuente: Autoría propia (2021)

En la opción de “Detalle de estructura” se puede observar los muros registrados de cada nivel y su información correspondiente, en esta sección es posible también corregir o modificar los datos introducidos de cada muro de ser necesario.

El segundo botón de la pantalla tiene como función guardar la configuración de la estructura que se haya registrado anteriormente o modificado. El ultimo botón tiene la función de restablecer la información guardada en caso de no mostrarse adecuadamente.

SISTEMA DE ESTRUCTURAS

Definición de estructura

Registrar muros por nivel  INICIAR REGISTRO    

DETALLE DE LA ESTRUCTURA

NIVEL 1

INFORMACIÓN DE MUROS HORIZONTALES							
MURO	MATERIAL	LONGITUD(M)	AREA TRIBUTARIA(M2)	ESPESOR(M)	ALTURA(M)	COORDENADAS X(M)	COORDENADAS Y(M)
1	Tabique	130.00	3.25	15.00	300.00	72.00	495.00
2	Tabique	130.00	3.25	15.00	300.00	720.00	495.00
3	Tabique	130.00	3.25	15.00	300.00	72.00	0.00
4	Tabique	130.00	3.25	15.00	300.00	720.00	0.00

INFORMACIÓN DE MUROS VERTICALES							
MURO	MATERIAL	LONGITUD(M)	AREA TRIBUTARIA(M2)	ESPESOR(M)	ALTURA(M)	COORDENADAS X(M)	COORDENADAS Y(M)
1	Concreto	95.00	6.25	15.00	300.00	0.00	47.00
2	Concreto	95.00	6.25	15.00	300.00	0.00	462.00
3	Concreto	95.00	6.25	15.00	300.00	777.00	47.00
4	Concreto	95.00	6.25	15.00	300.00	777.00	462.00

NIVEL 2

Ayuda

Figura 4.6 Sección de "Detalle de la estructura". Fuente: Autoría propia (2021)

### 4.3. Análisis de carga

La tercera opción del menú muestra una pantalla que permite realizar un análisis de carga que determinará la carga muerta, viva máxima y viva instantánea que se desea aplicar en cada nivel de la estructura. Cuenta con 2 menús desplegables, un par de opciones de check box y un botón; el primer menú permite seleccionar el nivel al cual se le aplicará la carga resultante del análisis; el segundo menú despliega las opciones de sistemas de piso más comúnmente usadas, mientras que las casillas indica si el sistema de piso será aplicado como azotea o entrepiso. El botón "Guardar" tiene la función de almacenar esa información cargada en el archivo .xml y asignarla a las variables correspondientes.

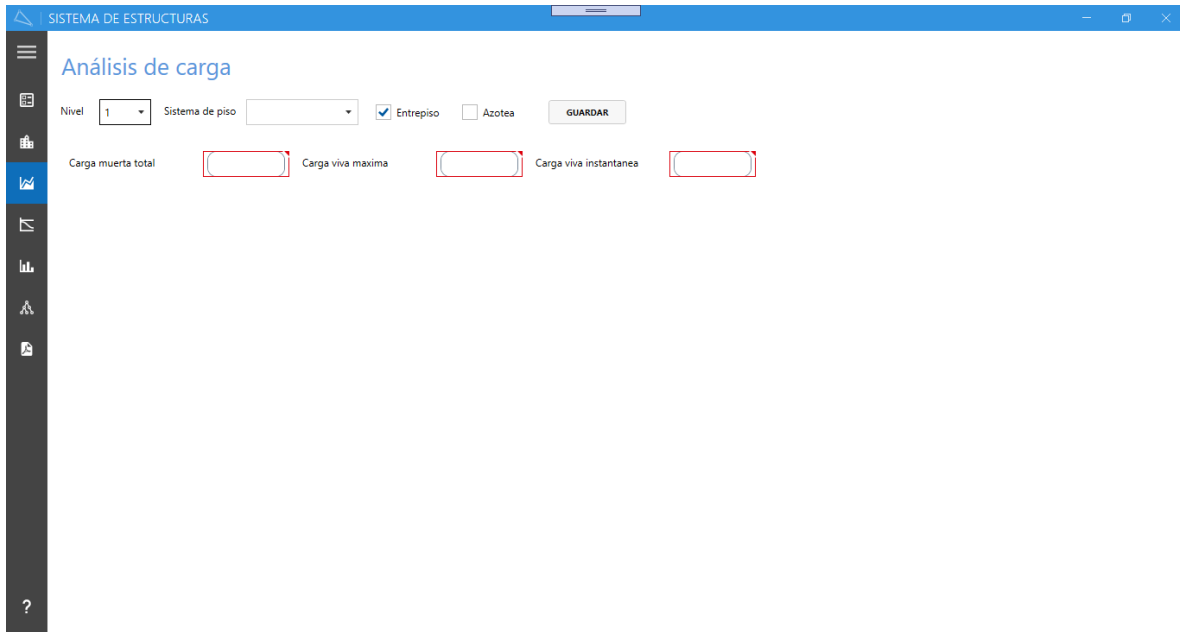


Figura 4.7 Análisis de carga. Fuente: Autoría propia (2021)

Según el sistema de piso seleccionado y si es de entrepiso o azotea será el análisis que se puede realizar, permitiendo al usuario hacer un análisis transparente y justificado para el caso que desee utilizar, entre las opciones disponibles de sistema de piso se encuentran: “Losas Reforzadas”, Losas nervadas”, “Vigueta y bovedilla” y “Otro”. Cada tipo de sistema y variante cuenta con un bosquejo de apoyo visual para la captura de información y un adecuado análisis de cargas.

Esta opción permite mediante la captura de valores para determinar la carga muerta del sistema en función de espesores y pesos volumétricos de las capas predefinidas para dicho sistema. En esta opción se muestran los campos “Espesor” y “Peso volumétrico” para cada capa que conforma el sistema.

SISTEMA DE ESTRUCTURAS

### Análisis de carga

Nivel: 1 Sistema de piso: Losa reforzada  Entrepiso  Azotea

Concepto	Peso volumetrico	Espesor	Peso	Concepto	Peso volumetrico	Espesor	Peso
Relleno adicional	0	0	0	Instalaciones			0
Piso	0	0	0	Carga adicional por colado			20
Mortero	0	0	0	Carga adicional por mortero			20
Firme	0	0	0	Carga muerta total			40
Losa	0	0	0	Carga viva maxima			0
Aplanado	0	0	0	Carga viva instantanea			0

LOSA DE ENTREPISO

PISO  
MORTERO  
FIRME  
LOSA  
APLANADO

Figura 4.8 Análisis de carga para losa reforzada de entrepiso. Fuente: Autoría propia (2021)

SISTEMA DE ESTRUCTURAS

### Análisis de carga

Nivel: 1 Sistema de piso: Losa reforzada  Entrepiso  Azotea

Concepto	Peso volumetrico	Espesor	Peso	Concepto	Peso volumetrico	Espesor	Peso
Impermeabilizante			0	Carga adicional por colada			20
Mortero	0	0	0	Carga adicional por mortero			20
Relleno	0	0	0	Carga muerta total			40
Losa	0	0	0	Carga viva maxima			0
Aplanado	0	0	0	Carga viva instantanea			0
Instalaciones			0				

IMPERMEABILIZANTE  
MORTERO  
RELLENO  
LOSA MACIZA  
APLANADO

MODULO

Figura 4.9 Análisis de carga para losa reforzada de azotea. Fuente: Autoría propia (2021)

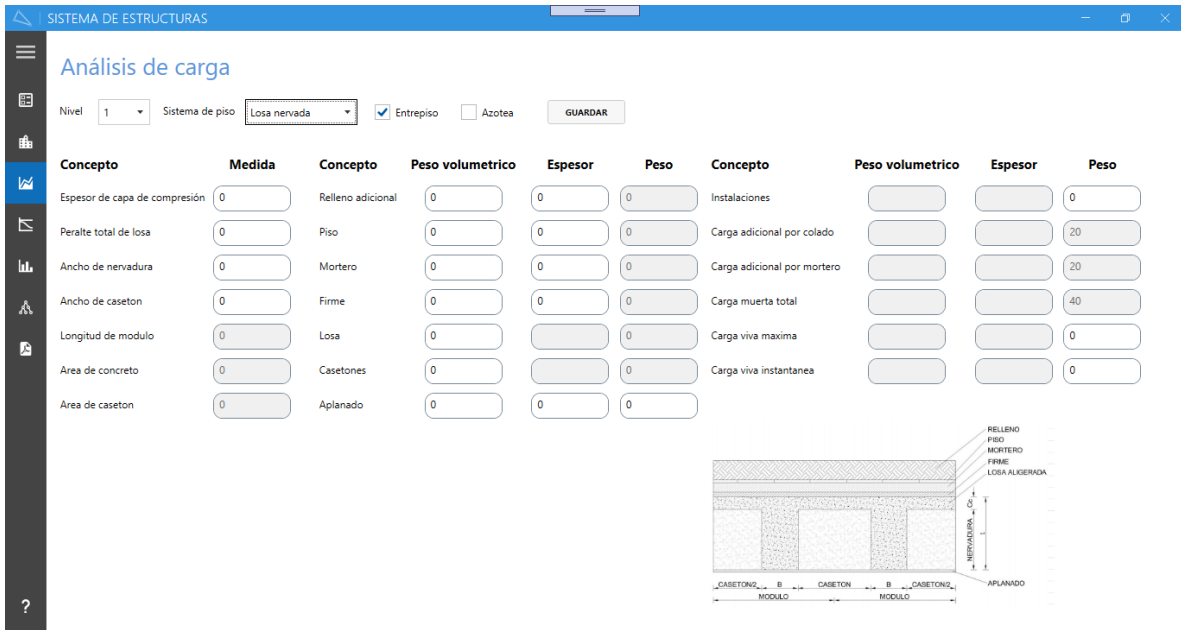


Figura 4.10 Análisis de carga de losa nervada de entrepiso. Fuente: Autoría propia (2021)

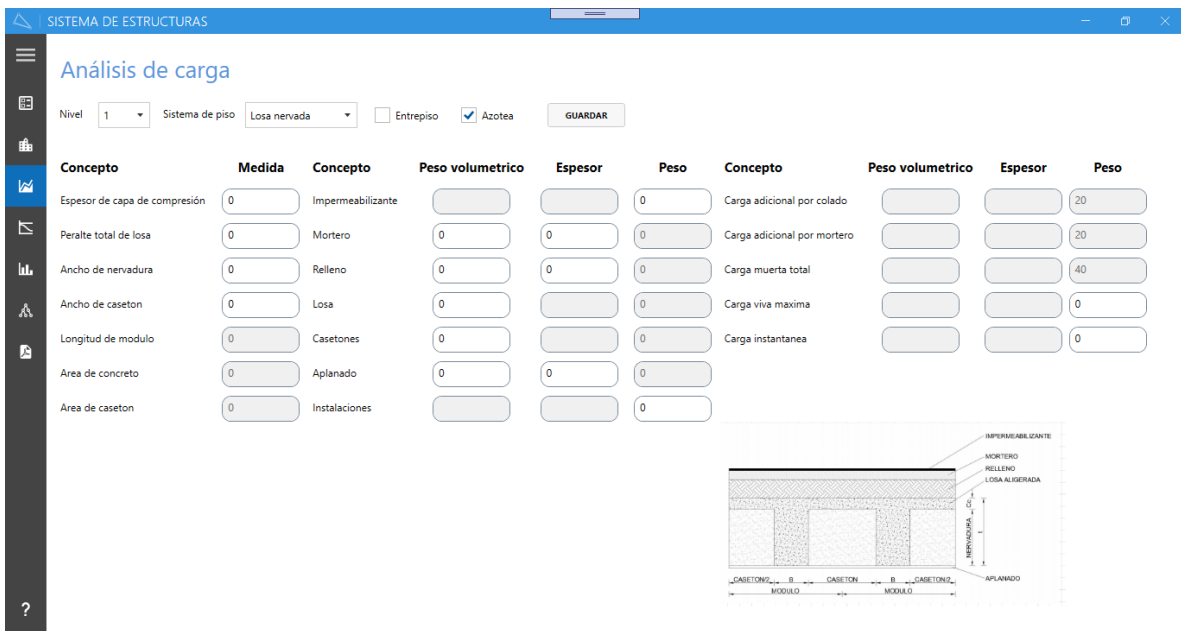


Figura 4.11 Análisis de carga de losa nervada de azotea. Fuente: Autoría propia (2021)

SISTEMA DE ESTRUCTURAS

### Análisis de carga

Nivel: 1 Sistema de piso: Vigueta y bovedill  Entrepiso  Azotea

Concepto	Medida	Concepto	Peso volumetrico	Espesor	Peso	Concepto	Peso volumetrico	Espesor	Peso
Espesor de capa de compresión	0	Relleno adicional	0	0	0	Instalaciones			0
Peralte total de losa	0	Piso	0	0	0	Carga adicional por colado			20
Ancho de patin	0	Mortero	0	0	0	Carga adicional por mortero			20
Peralte de patin	0	Firme	0	0	0	Carga muerta total			40
Ancho de bovedilla	0	Losa	0		0	Carga viva maxima			0
Ancho de vigueta	0	Bovedillas	0		0	Carga viva instantanea			0
Longitud de modulo	0	Aplanado	0	0	0				
Area de concreto	0								
Area de bovedilla	0								

Figura 4.12 Análisis de carga de losa de vigueta y bovedilla de entrepiso. Fuente: Autoría propia (2021)

SISTEMA DE ESTRUCTURAS

### Análisis de carga

Nivel: 1 Sistema de piso: Vigueta y bovedill  Entrepiso  Azotea

Concepto	Medida	Concepto	Peso volumetrico	Espesor	Peso	Concepto	Peso volumetrico	Espesor	Peso
Espesor de capa de compresión	0	Impermeabilizante			0	Carga adicional por colado			20
Peralte total de losa	0	Mortero	0	0	0	Carga adicional por mortero			20
Ancho de patin	0	Firme	0	0	0	Carga muerta total			40
Peralte de patin	0	Losa	0		0	Carga viva maxima			0
Ancho de bovedilla	0	Bovedillas	0		0	Carga viva instantanea			0
Ancho de vigueta	0	Aplanado	0	0	0				
Longitud de modulo	0	Instalaciones			0				
Area de concreto	0								
Area de bovedilla	0								

Figura 4.13 Análisis de losa de vigueta y bovedilla de azotea. Fuente: Autoría propia (2021)

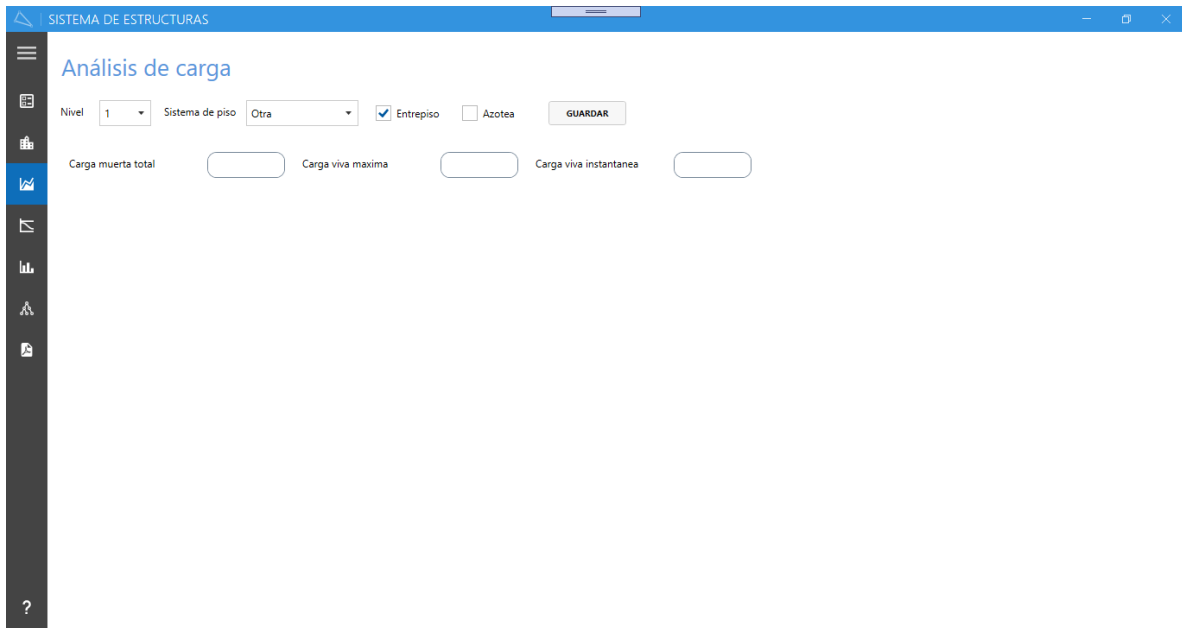


Figura 4.14 Análisis de carga de otro tipo de sistema de piso. Fuente: Autoría propia (2021)

#### 4.4. Análisis sísmico

La tercera opción está dedicada al análisis sísmico de la estructura, los botones y secciones se habilitan de acuerdo con el método de análisis seleccionado en la primera opción. Esta ventana se divide en 3 secciones principales, a la izquierda es la visualización de los resultados, a la derecha los distintos pasos del proceso de análisis y en la parte superior es la dirección de análisis.

En el caso del método dinámico se generan los vectores de masas y rigideces en función de la información introducida anteriormente. En la sección de la derecha se encuentra un botón “Visualizar” en cada paso del análisis, el cual tiene como función mostrar el resultado obtenido en la sección izquierda.

El análisis sísmico se realiza en ambas direcciones de la estructura la cual se puede seleccionar y visualizar en la sección superior.

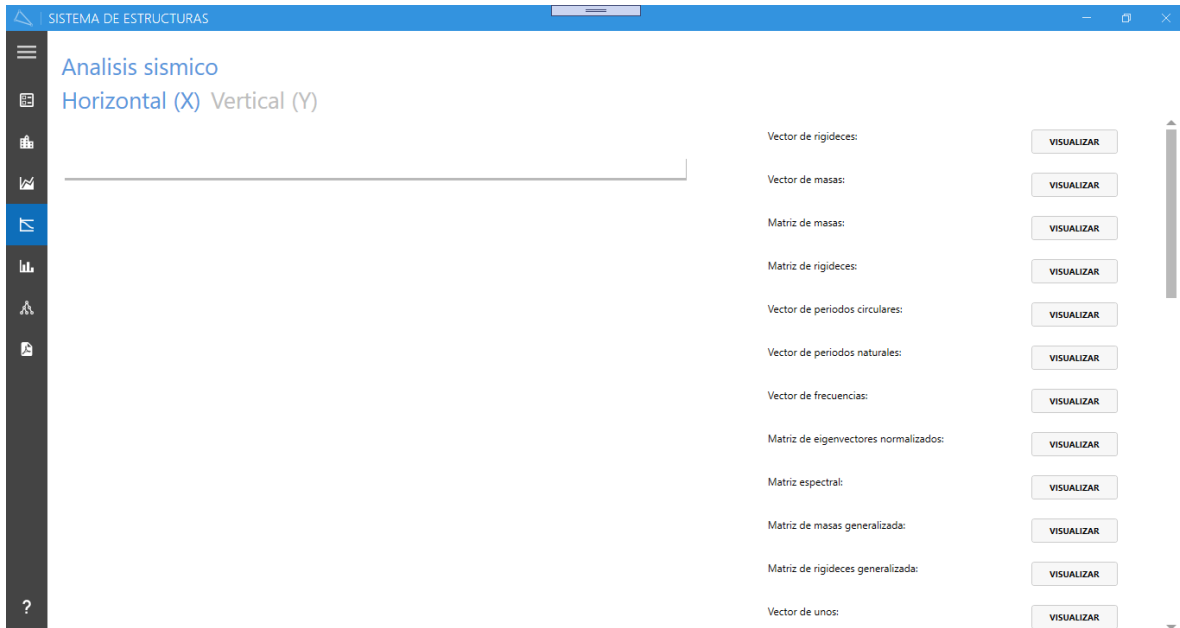


Figura 4.15 Análisis sísmico. Fuente: Autoría propia (2021)

#### 4.5. Repartición de fuerzas sísmicas

Luego del análisis sísmico se obtienen fuerzas sísmicas equivalentes por nivel que deberán transmitirse y distribuirse a cada elemento resistente de la estructura; en esta sección se lleva a cabo dicho procedimiento obteniéndose así cargas axiales, momentos flexionantes y cortantes máximos para cada elemento resistente.

La sección cuenta con un botón en la parte superior para recargar la información que aparece en esta ventana de ser necesario, también, en la zona “Detalle de estructura” se muestra un listado por nivel los cuales al seleccionar un nivel despliega la información de cada elemento resistente de dicho nivel.

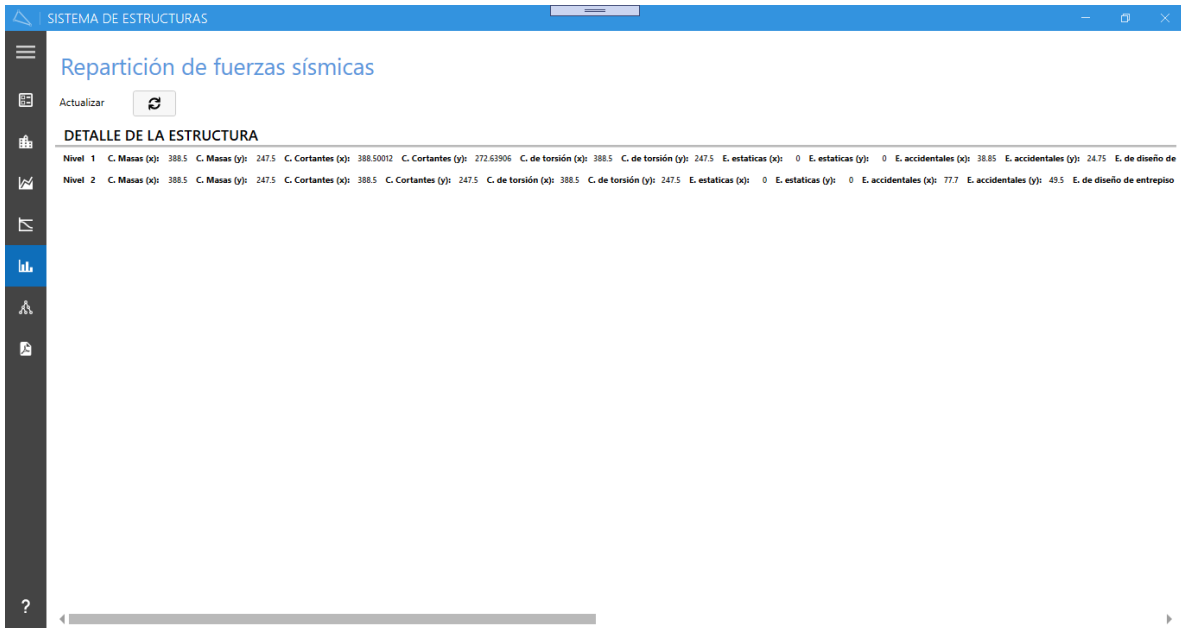


Figura 4.16 Repartición de fuerzas sísmicas. Fuente: Autoría propia (2021)

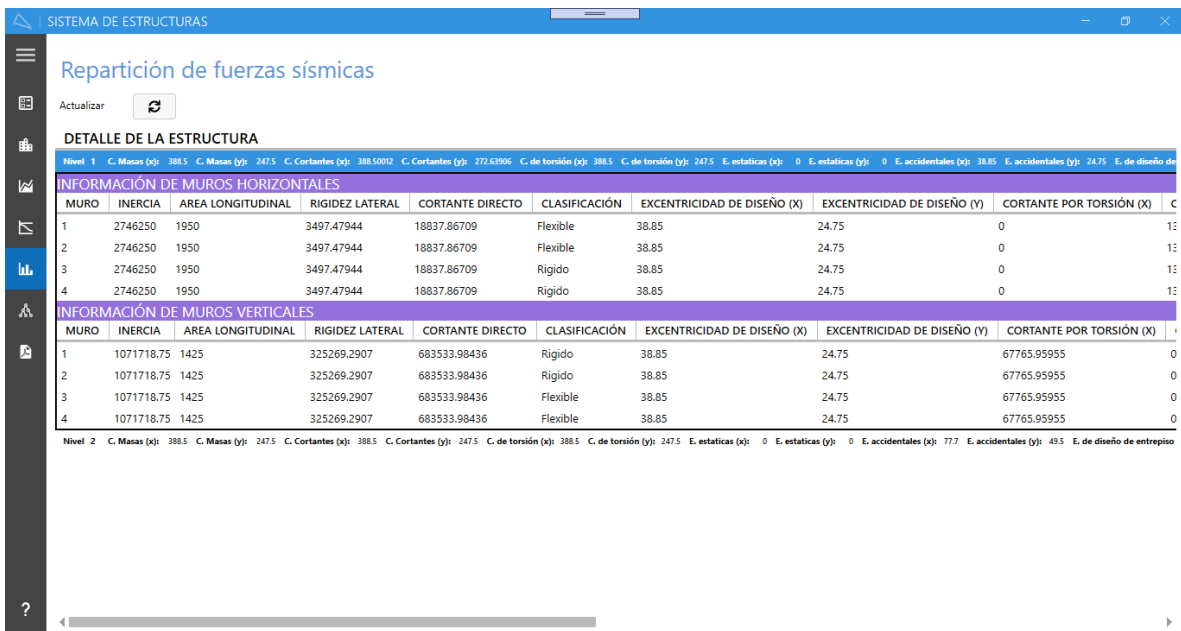
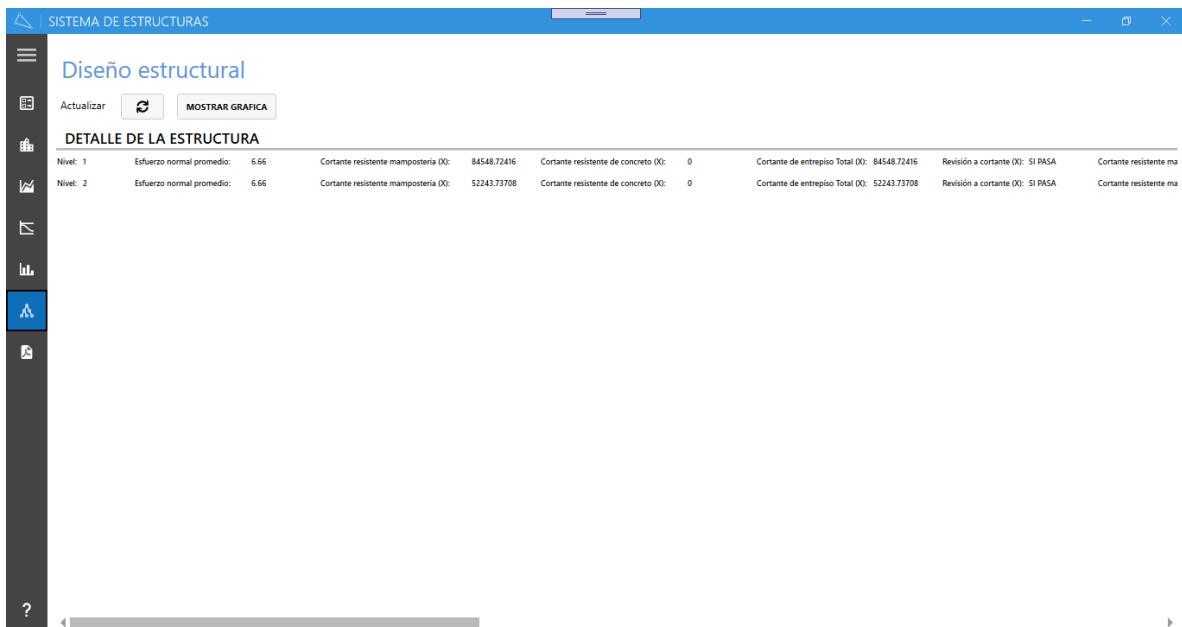


Figura 4.17 Información de muros por nivel en la repartición de fuerzas sísmicas. Fuente: Autoría propia (2021)

## 4.6. Diseño estructural

Para el diseño de cada elemento estructural, el software utiliza el reglamento seleccionado en el primer apartado y mediante iteraciones encuentra la sección y armados que cumplan con lo indicado en la norma, es decir, que la resistencia sea mayor a la acción.

Para este paso se cuenta con una configuración similar a la anterior. Se muestran 2 botones en la parte superior, seguido de una lista de los niveles y su información relevante en la parte inferior, que, al igual que en el apartado anterior la información de los elementos resistentes se observa al seleccionar el nivel correspondiente.



DETALLE DE LA ESTRUCTURA							
Nivel: 1	Esfuerzo normal promedio: 6.66	Cortante resistente mampostería (D): 84548.72416	Cortante resistente de concreto (D): 0	Cortante de entregiso Total (D): 84548.72416	Revisión a cortante (D): SI PASA	Cortante resistente ma	
Nivel: 2	Esfuerzo normal promedio: 6.66	Cortante resistente mampostería (D): 52243.73708	Cortante resistente de concreto (D): 0	Cortante de entregiso Total (D): 52243.73708	Revisión a cortante (D): SI PASA	Cortante resistente ma	

Figura 4.18 Diseño estructural. Fuente: Autoría propia (2021)

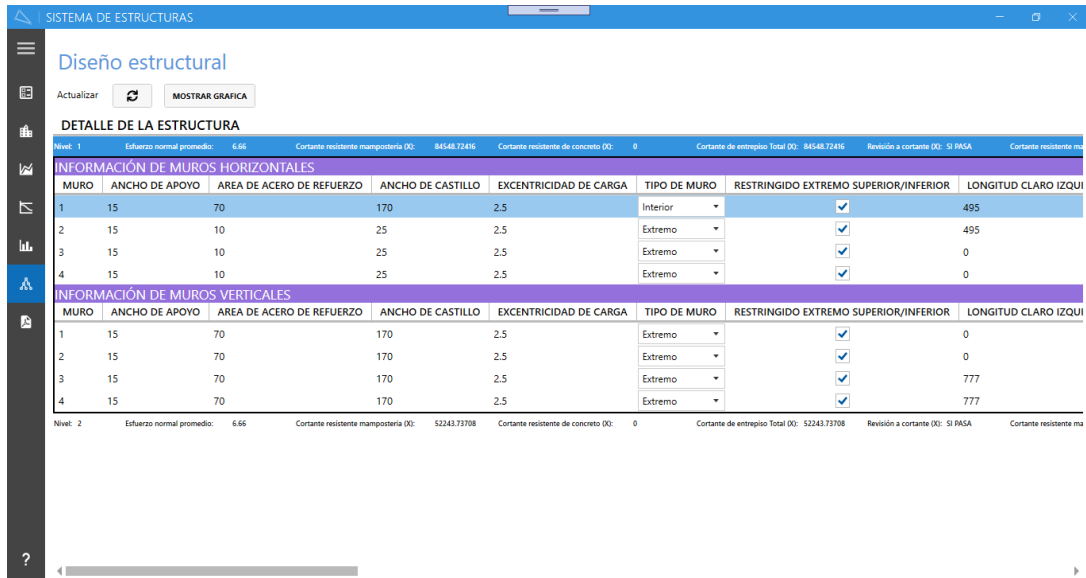


Figura 4.19 Información de diseño estructural de cada elemento resistente. Fuente: Autoría propia (2021)

El primer botón tiene la misma función que en ventanas anteriores, permite volver a generar los resultados presentados aquí. El segundo abre una ventana donde se muestra el diagrama de interacción del muro seleccionado, a su vez, en esta ventana pueden hacerse 3 principales funciones; abrir una gráfica guardada con anterioridad, guardar la gráfica que se muestra o imprimirla.

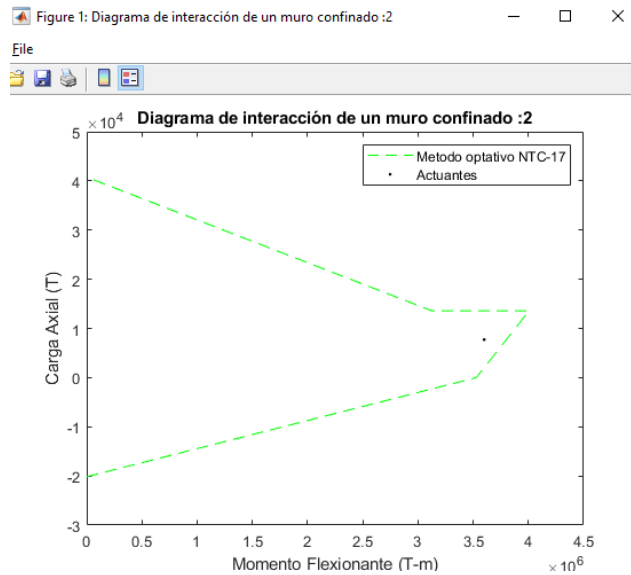


Figura 4.20 Diagrama de interacción de muros. Fuente: Autoría propia (2021)

## 4.7. Exportar reporte

Esta pantalla permite generar un reporte en formato .pdf con los resultados obtenidos en el análisis, para esto cuenta con una barra donde puede escribirse de manera manual la dirección donde se desea almacenar el reporte o bien un botón para explorar y seleccionar la ubicación para guardar el documento. El botón “Exportar PDF” crea el reporte con datos y resultados de todo el análisis así como el diseño realizado.

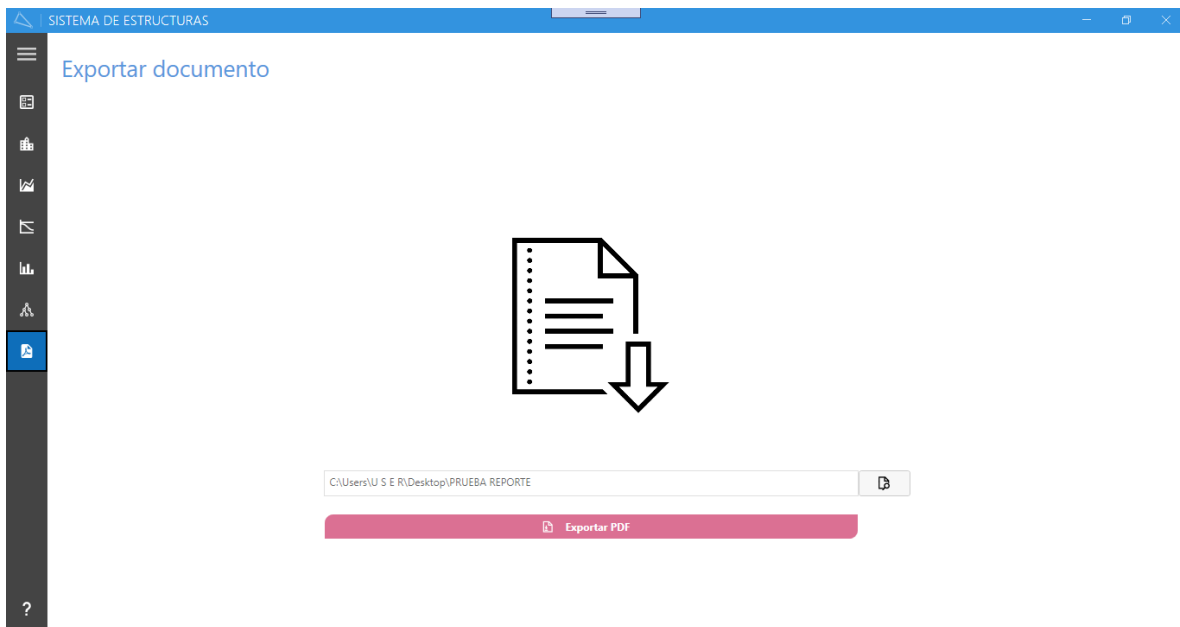


Figura 4.21 Exportar documento. Fuente: Autoría propia (2021)

Analisis sismico			
Valores horizontales (X)			
k		m	
13989 91776		27718	
13989 91776		27205	
k		k	
27979 83552		-13989 91776	
-13989 91776		13989 91776	
m		m	
27718		0	
0		27205	
u <sub>1</sub>	T	F <sub>1</sub>	
13.845181529432543	0.4558174733673293	2.203529080912014	
36.09775591205938	0.17406027432376298	0.745136297676813	
l		l	
1.4128537738297195		-0.63171040216187289	
l		l	
13.845181529432543		0	
0		36.09775591205938	
M <sub>1</sub>		0	
98496.29293104288		3874 3862159289	
0		3874 3862159289	
0N		0	
0.003186486659750970		0.005091553937716283	
0.005139337034437417		-0.00121438984324744	
T	M <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	
0.7269409281278575	32047.24701114111	228 13870125484747	
0.2730390718721424	2875.732988838898	33 425861194379866	
F <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Coef. Modif.
0.9474406423370546	1054.9479395520711	1054.9479395520711	1
0.052359357442945544	1147.0452890000001	723.402467000935	0.420019099227044
Espectro de diseño			
T	S		
0	0.308485		
0.01	0.352544		
0.02	0.394404		
0.03	0.430453		
0.04	0.461722		
0.05	0.528781		
0.06	0.57284		
0.07	0.614899		
0.08	0.660959		
0.09	0.705018		
0.1	0.749077		
0.11	0.793136		

Figura 4.22 Configuración del reporte. Fuente: Autoría propia (2021)

#### **4.8. Comparación de resultados**

Con el fin de conocer la efectividad del uso del software desarrollado se realiza una comparación entre este y el proceso manual o tradicional con apoyo de hojas de cálculo.

El análisis y diseño es de una estructura real de 3 niveles, la cual será utilizada como edificio de departamentos, ubicado en el puerto de Veracruz, Ver. La edificación es a base de muros de carga de tabique rojo recocido de la región. Cuenta con la siguiente distribución:

##### **Planta baja:**

Estacionamiento para 3 automóviles

Sala-comedor

Recamara sencilla

Medio baño

Baño completo

Recamara con vestidor y baño

Patio de servicio

Cocina

Patio trasero

Cubo de escaleras

**Planta de primer y segundo nivel:**

Sala-comedor

Recamara sencilla

Medio baño

Baño completo

Recamara con vestidor y baño

Patio de servicio

Cocina

Cubo de escaleras

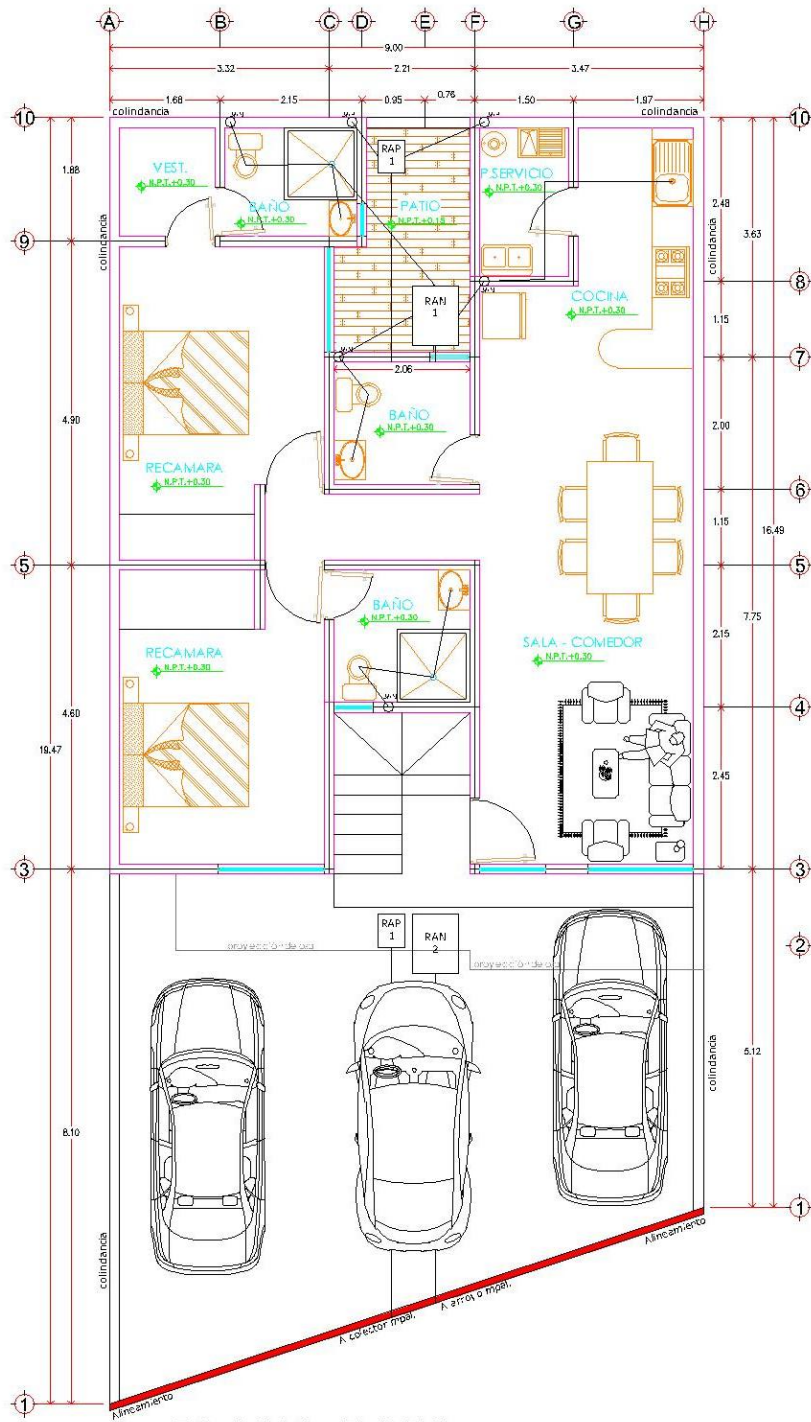
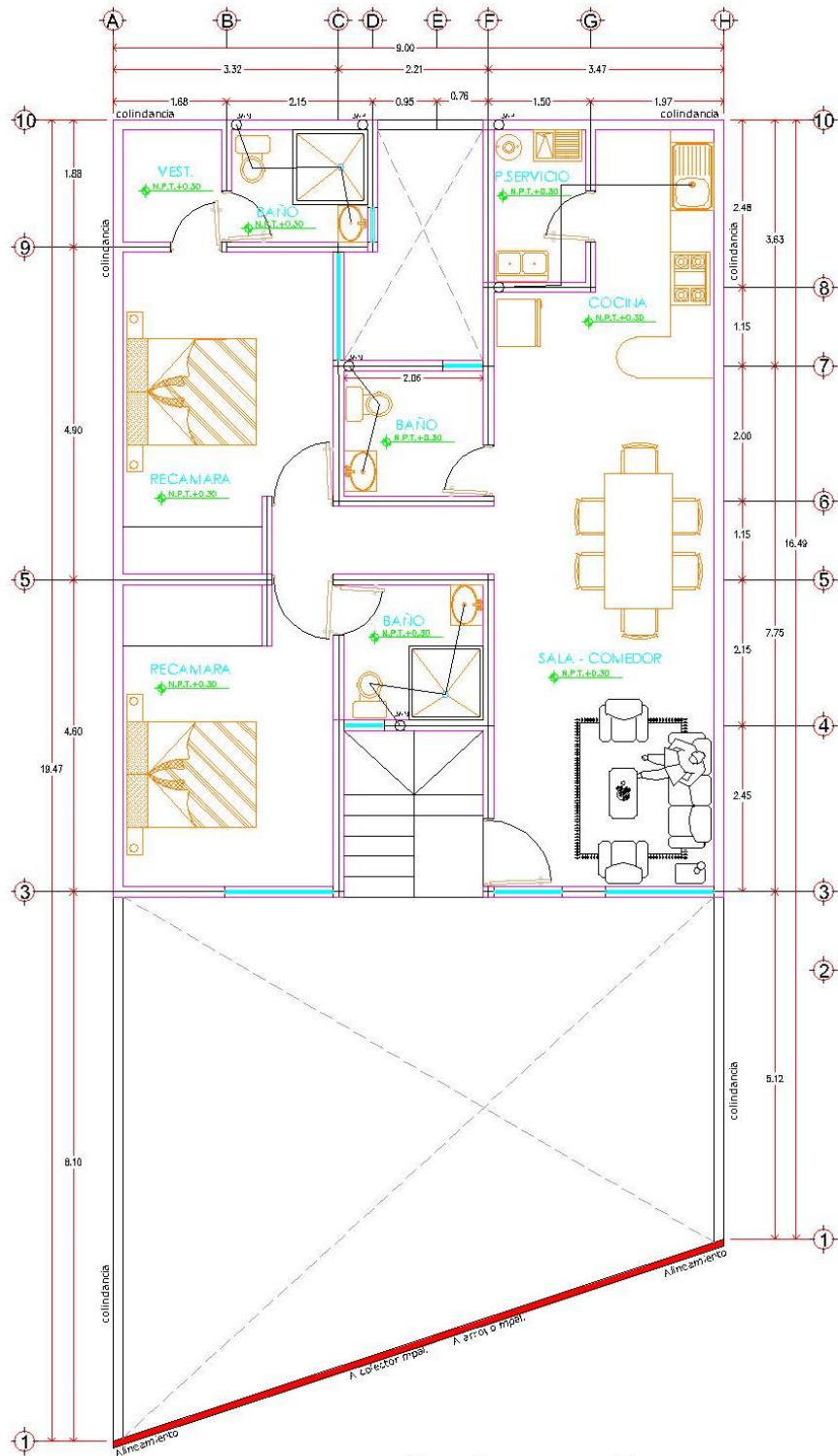


Figura 4.23 Planta baja arquitectónica. Fuente: Análisis y diseño estructural (2021)



**PRIMER Y SEGUNDO NIVEL ES**

Figura 4.24 Planta arquitectónica de primer y segundo nivel. Fuente: Análisis y diseño estructural (2021)

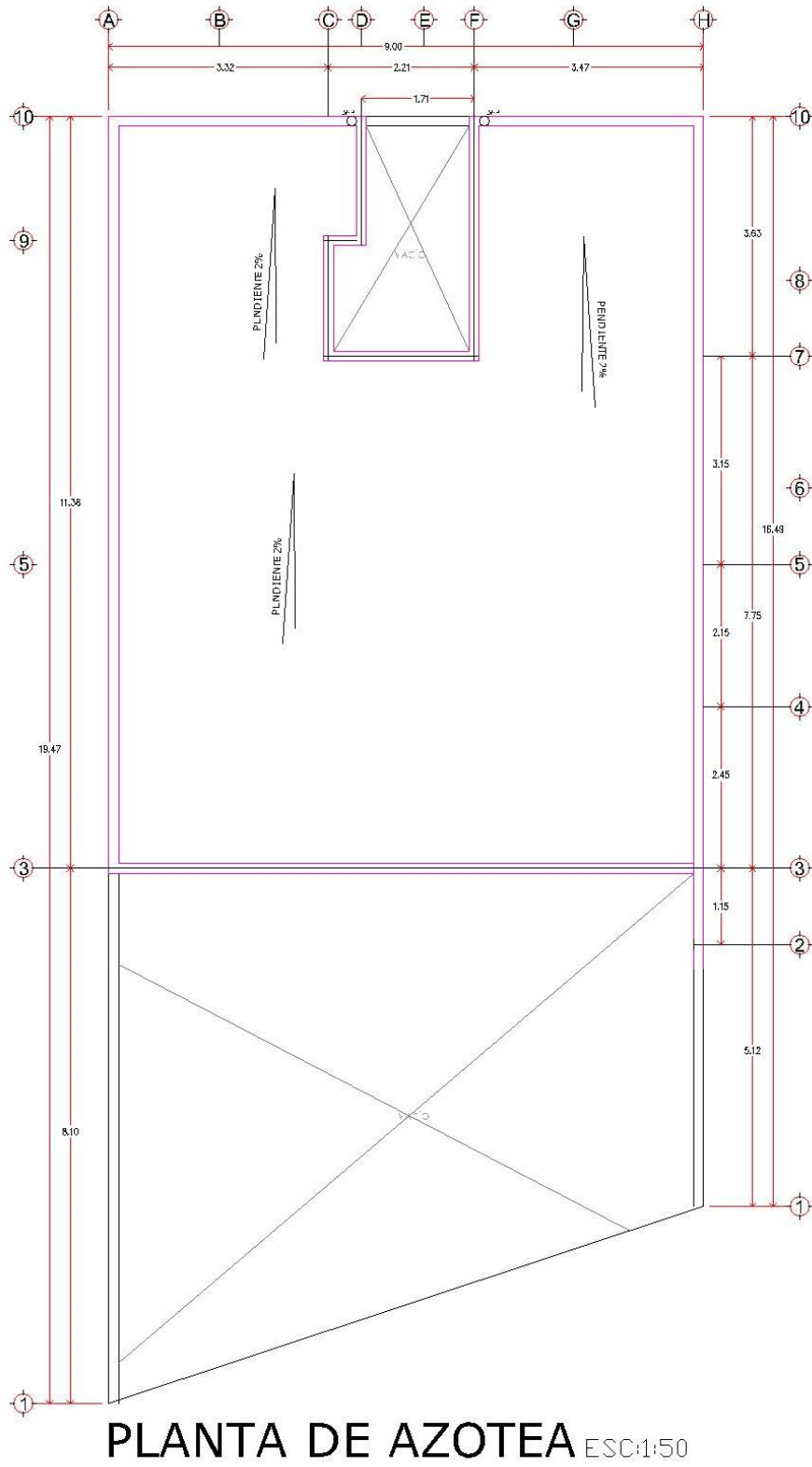


Figura 4.25 Planta arquitectónica de azotea. Fuente: Análisis y diseño estructural (2021)

Se utiliza el criterio de áreas tributarias para determinar las cargas verticales de la estructura como lo permite el capítulo 3.2.2.2 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.

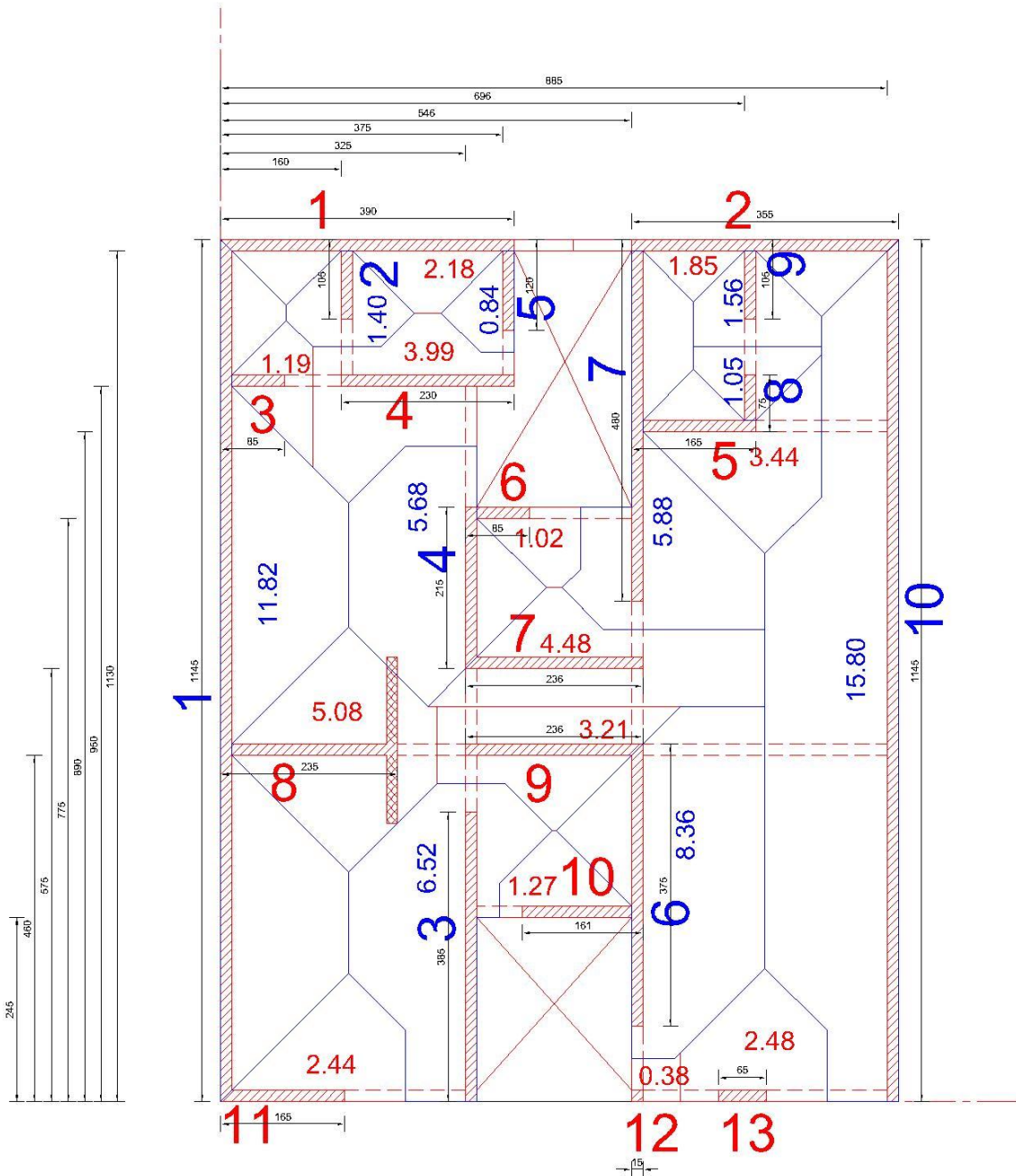


Figura 4.26 Áreas tributarias de muros. Fuente: Análisis y diseño estructural (2021)

Para el análisis de cargas se consideró un sistema de piso de losa reforzada de 10 cm. de espesor y se analizó de forma tradicional.

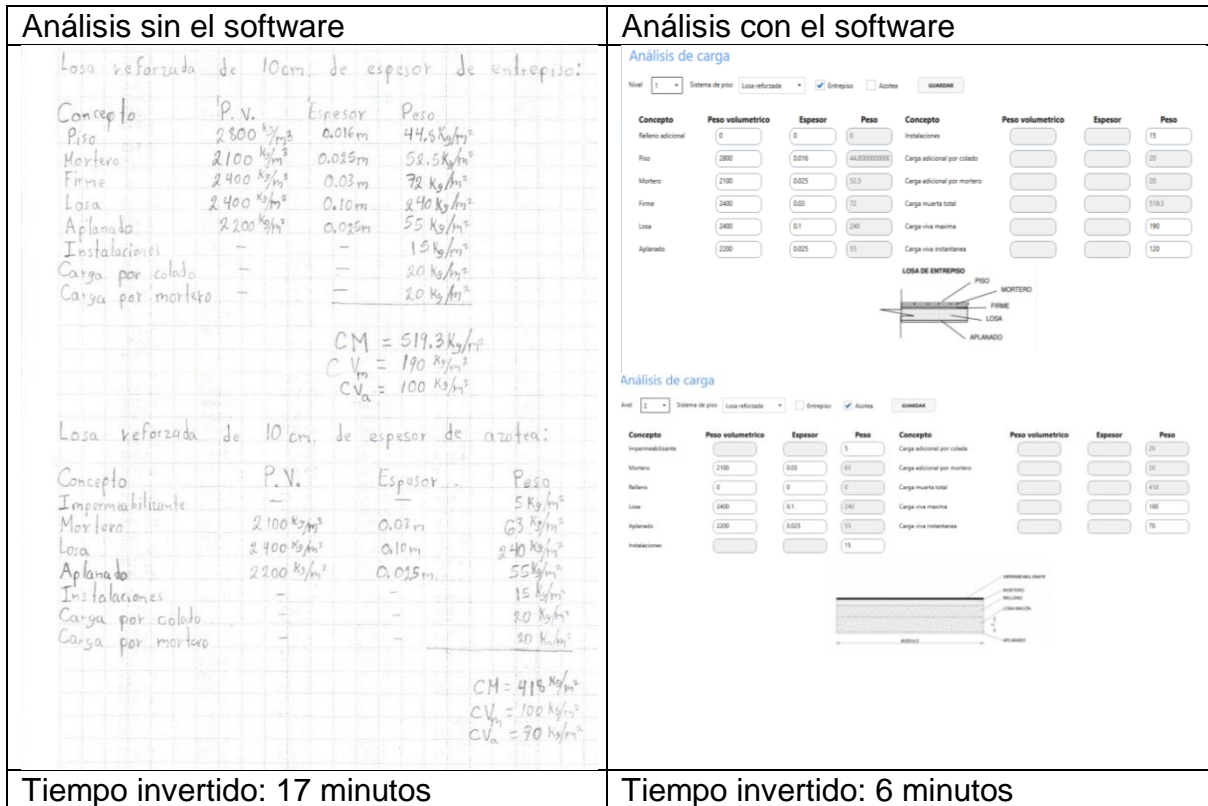


Figura 4.27 Comparación de análisis de cargas. Fuente: Autoría propia (2021)

La rigidez lateral de un entrepiso puede estimarse como la suma de las rigideces laterales de los elementos resistentes verticales y paralelos a esa dirección siempre y cuando se trate de una estructura de cortante. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019)

Por lo cual, con la geometría de los muros es posible estimar la rigidez de entrepiso para cada dirección. También con el análisis de cargas realizado anteriormente para cada entrepiso se pueden obtener los vectores de masa y rigidez del modelo equivalente de 1 grado de libertad.

### Análisis sin el software

Nivel 1						
Muros paralelos al eje X						
MURO	LONG (m)	AREA (m2)	E (cm)	H (m)	DIST. (cm)	
1	3.9	2.18	15	3	1130	
2	3.55	1.85	15	3	1130	
3	0.85	1.19	15	3	950	
4	2.3	3.99	15	3	950	
5	1.65	3.44	15	3	890	
6	0.85	1.02	15	3	775	
7	2.36	4.48	15	3	575	
8	2.35	5.08	15	3	460	
9	2.36	3.21	15	3	460	
10	1.61	1.27	15	3	245	
11	1.65	2.44	15	3	0	
12	0.15	0.38	15	3	0	
13	0.65	2.48	15	3	0	

Muros paralelos al eje Y						
MURO	LONG (m)	AREA (m2)	E (cm)	H (m)	DIST. (cm)	
1	11.45	11.82	15	3	0	
2	1.05	1.4	15	3	160	
3	3.85	6.52	15	3	325	
4	2.15	5.68	15	3	325	
5	1.2	0.84	15	3	375	
6	3.75	8.36	15	3	546	
7	4.8	5.88	15	3	546	
8	0.75	1.05	15	3	696	
9	1.05	1.56	15	3	696	
10	11.45	15.8	15	3	885	

Nivel 2						
Muros paralelos al eje X						
MURO	LONG (m)	AREA (m2)	E (cm)	H (m)	DIST. (cm)	
1	3.9	2.18	15	3	1130	
2	3.55	1.85	15	3	1130	
3	0.85	1.19	15	3	950	
4	2.3	3.99	15	3	950	
5	1.65	3.44	15	3	890	
6	0.85	1.02	15	3	775	
7	2.36	4.48	15	3	575	
8	2.35	5.08	15	3	460	
9	2.36	3.21	15	3	460	
10	1.61	1.27	15	3	245	
11	1.65	2.44	15	3	0	
12	0.15	0.38	15	3	0	
13	0.65	2.48	15	3	0	

Muros paralelos al eje Y						
MURO	LONG (m)	AREA (m2)	E (cm)	H (m)	DIST. (cm)	
1	11.45	11.82	15	3	0	
2	1.05	1.4	15	3	160	
3	3.85	6.52	15	3	325	
4	2.15	5.68	15	3	325	
5	1.2	0.84	15	3	375	
6	3.75	8.36	15	3	546	
7	4.8	5.88	15	3	546	
8	0.75	1.05	15	3	696	
9	1.05	1.56	15	3	696	
10	11.45	15.8	15	3	885	

Nivel 3						
Muros paralelos al eje X						
MURO	LONG (m)	AREA (m2)	E (cm)	H (m)	DIST. (cm)	
1	3.9	2.18	15	3	1130	
2	3.55	1.85	15	3	1130	
3	0.85	1.19	15	3	950	
4	2.3	3.99	15	3	950	
5	1.65	3.44	15	3	890	
6	0.85	1.02	15	3	775	
7	2.36	4.48	15	3	575	
8	2.35	5.08	15	3	460	
9	2.36	3.21	15	3	460	
10	1.61	1.27	15	3	245	
11	1.65	2.44	15	3	0	
12	0.15	0.38	15	3	0	
13	0.65	2.48	15	3	0	

Muros paralelos al eje y						
MURO	LONG (m)	AREA (m2)	E (cm)	H (m)	DIST. (cm)	
1	11.45	11.82	15	3	0	
2	1.05	1.4	15	3	160	
3	3.85	6.52	15	3	325	
4	2.15	5.68	15	3	325	
5	1.2	0.84	15	3	375	
6	3.75	8.36	15	3	546	
7	4.8	5.88	15	3	546	
8	0.75	1.05	15	3	696	
9	1.05	1.56	15	3	696	
10	11.45	15.8	15	3	885	

Tiempo invertido: 45 minutos

### Análisis con el software

NIVEL 1							
INFORMACIÓN DE MUROS HORIZONTALES							
MURO	MATERIAL	LONGITUD(CM)	AREA TRIBUTARIA(M2)	ESPESOR(CM)	ALTURA(CM)	COORDENADAS X(CM)	COORDENADAS Y(CM)
1	Tabique	390.00	2.18	15.00	300.00	0.00	1,130.00
2	Tabique	355.00	1.85	15.00	300.00	0.00	1,130.00
3	Tabique	85.00	1.19	15.00	300.00	0.00	950.00
4	Tabique	230.00	3.99	15.00	300.00	0.00	950.00
5	Tabique	165.00	3.44	15.00	300.00	0.00	890.00
6	Tabique	85.00	1.02	15.00	300.00	0.00	775.00
7	Tabique	236.00	4.48	15.00	300.00	0.00	575.00
8	Tabique	235.00	5.08	15.00	300.00	0.00	460.00
9	Tabique	236.00	3.21	15.00	300.00	0.00	460.00
10	Tabique	161.00	1.27	15.00	300.00	0.00	245.00
11	Tabique	165.00	2.44	15.00	300.00	0.00	0.00
12	Tabique	15.00	0.38	15.00	300.00	0.00	0.00
13	Tabique	65.00	2.48	15.00	300.00	0.00	0.00

INFORMACIÓN DE MUROS VERTICALES							
MURO	MATERIAL	LONGITUD(CM)	AREA TRIBUTARIA(M2)	ESPESOR(CM)	ALTURA(CM)	COORDENADAS X(CM)	COORDENADAS Y(CM)
1	Tabique	1,145.00	11.82	15.00	300.00	0.00	0.00
2	Tabique	105.00	1.40	15.00	300.00	160.00	0.00
3	Tabique	385.00	6.52	15.00	300.00	325.00	0.00
4	Tabique	215.00	5.68	15.00	300.00	325.00	0.00
5	Tabique	120.00	0.84	15.00	300.00	375.00	0.00
6	Tabique	375.00	8.36	15.00	300.00	546.00	0.00
7	Tabique	480.00	5.88	15.00	300.00	546.00	0.00
8	Tabique	75.00	1.05	15.00	300.00	696.00	0.00
9	Tabique	105.00	1.56	15.00	300.00	696.00	0.00
10	Tabique	1,145.00	15.80	15.00	300.00	885.00	0.00

NIVEL 2							
INFORMACIÓN DE MUROS HORIZONTALES							
MURO	MATERIAL	LONGITUD(CM)	AREA TRIBUTARIA(M2)	ESPESOR(CM)	ALTURA(CM)	COORDENADAS X(CM)	COORDENADAS Y(CM)
1	Tabique	390.00	2.18	15.00	300.00	0.00	1,130.00
2	Tabique	355.00	1.85	15.00	300.00	0.00	1,130.00
3	Tabique	85.00	1.19	15.00	300.00	0.00	950.00
4	Tabique	230.00	3.99	15.00	300.00	0.00	950.00
5	Tabique	165.00	3.44	15.00	300.00	0.00	890.00
6	Tabique	85.00	1.02	15.00	300.00	0.00	775.00
7	Tabique	236.00	4.48	15.00	300.00	0.00	575.00
8	Tabique	235.00	5.08	15.00	300.00	0.00	460.00
9	Tabique	236.00	3.21	15.00	300.00	0.00	460.00
10	Tabique	161.00	1.27	15.00	300.00	0.00	245.00
11	Tabique	165.00	2.44	15.00	300.00	0.00	0.00
12	Tabique	15.00	0.38	15.00	300.00	0.00	0.00
13	Tabique	65.00	2.48	15.00	300.00	0.00	0.00

INFORMACIÓN DE MUROS VERTICALES							
MURO	MATERIAL	LONGITUD(CM)	AREA TRIBUTARIA(M2)	ESPESOR(CM)	ALTURA(CM)	COORDENADAS X(CM)	COORDENADAS Y(CM)
1	Tabique	1,145.00	11.82	15.00	300.00	0.00	0.00
2	Tabique	105.00	1.40	15.00	300.00	160.00	0.00
3	Tabique	385.00	6.52	15.00	300.00	325.00	0.00
4	Tabique	215.00	5.68	15.00	300.00	325.00	0.00
5	Tabique	120.00	0.84	15.00	300.00	375.00	0.00
6	Tabique	375.00	8.36	15.00	300.00	546.00	0.00
7	Tabique	480.00	5.88	15.00	300.00	546.00	0.00
8	Tabique	75.00	1.05	15.00	300.00	696.00	0.00
9	Tabique	105.00	1.56	15.00	300.00	696.00	0.00
10	Tabique	1,145.00	15.80	15.00	300.00	885.00	0.00

NIVEL 3							
INFORMACIÓN DE MUROS HORIZONTALES							
MURO	MATERIAL	LONGITUD(CM)	AREA TRIBUTARIA(M2)	ESPESOR(CM)	ALTURA(CM)	COORDENADAS X(CM)	COORDENADAS Y(CM)
1	Tabique	390.00	2.18	15.00	300.00	0.00	1,130.00
2	Tabique	355.00	1.85	15.00	300.00	0.00	1,130.00
3	Tabique	85.00	1.19	15.00	300.00	0.00	950.00
4	Tabique	230.00	3.99	15.00	300.00	0.00	950.00
5	Tabique	165.00	3.44	15.00	300.00	0.00	890.00
6	Tabique	85.00	1.02	15.00	300.00	0.00	775.00
7	Tabique	236.00	4.48	15.00	300.00	0.00	575.00
8	Tabique	235.00	5.08	15.00	300.00	0.00	460.00
9	Tabique	236.00	3.21	15.00	300.00	0.00	460.00
10	Tabique	161.00	1.27	15.00	300.00	0.00	245.00
11	Tabique	165.00	2.44	15.00	300.00	0.00	0.00
12	Tabique	15.00	0.38	15.00	300.00	0.00	0.00
13	Tabique	65.00	2.48	15.00	300.00	0.00	0.00

INFORMACIÓN DE MUROS VERTICALES							
MURO	MATERIAL	LONGITUD(CM)	AREA TRIBUTARIA(M2)	ESPESOR(CM)	ALTURA(CM)	COORDENADAS X(CM)	COORDENADAS Y(CM)
1	Tabique	1,145.00	11.82	15.00	300.00	0.00	0.00
2	Tabique	105.00	1.40	15.00	300.00	160.00	0.00
3	Tabique	385.00	6.52	15.00	300.00	325.00	0.00
4	Tabique	215.00	5.68	15.00	300.00	325.00	0.00
5	Tabique	120.00	0.84	15.00	300.00	375.00	0.00
6	Tabique	375.00	8.36	15.00	300.00	546.00	0.00
7	Tabique	480.00	5.88	15.00	300.00	546.00	0.00
8	Tabique	75.00	1.05	15.00	300.00	696.00	0.00
9	Tabique	105.00	1.56	15.00	300.00	696.00	0.00
10	Tabique	1,145.00	15.80	15.00	300.00	885.00	0.00

Tiempo invertido: 15 minutos

Figura 4.28 Comparación de datos de muros. Fuente: Autoría propia (2021)

Para el análisis sísmico se debe considerar el tipo de terreno sobre el que se desplantara la estructura, el uso de la misma, la ubicación del proyecto y su regularidad geométrica:

PARAMETROS DEL ESPECTRO				
c	a0	Ta	Tb	r
0.3	0.08	0.3	1.5	0.67
Clasificación Construcción			Grupo	B
Factor de Comportamiento Sísmico Q				2
Corrección por Irregularidad Cir				0.9

Figura 4.29 Parámetros del espectro de diseño. Fuente: Autoría propia (2021)

Con los parámetros anteriores puede generarse un espectro de diseño de acuerdo a la norma deseada:

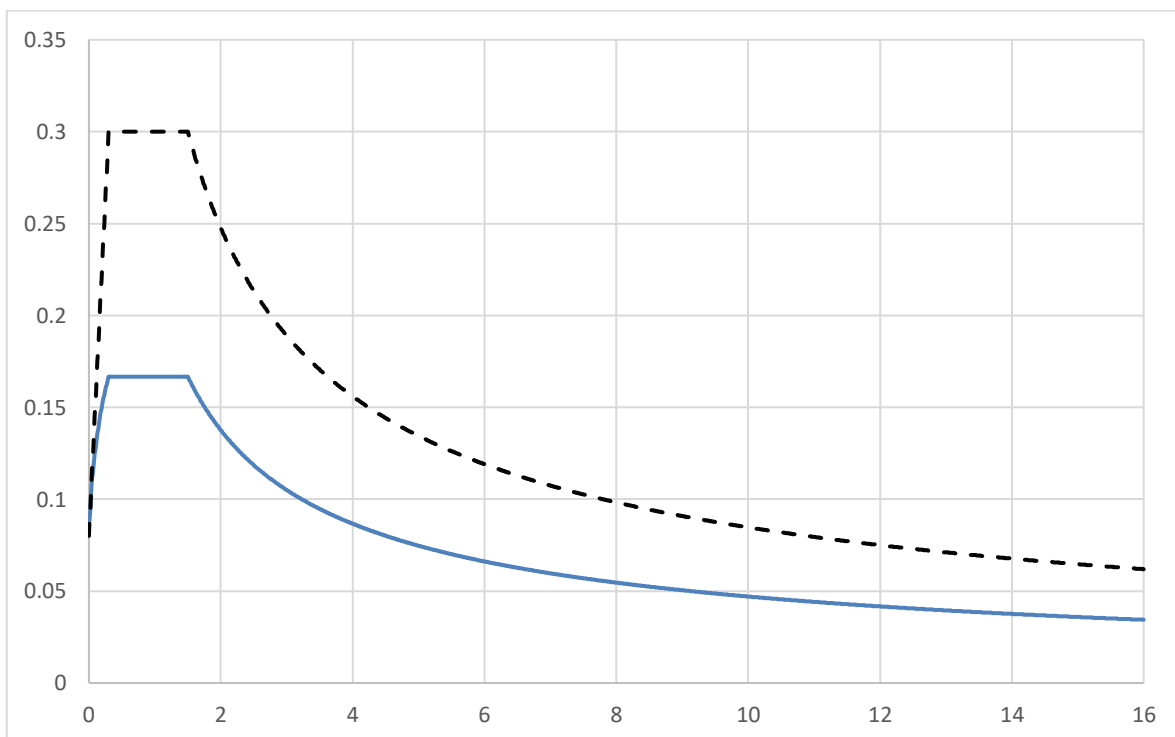


Figura 4.30 Espectro de diseño. Fuente: Autoría propia (2021)

El análisis sísmico a realizar será mediante el método dinámico, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en la dirección “x”.

Análisis sin software	Análisis con software												
$m := \begin{bmatrix} 83546.706 \\ 83546.706 \\ 71477.61 \end{bmatrix} \text{ kg}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NIVEL</th> <th>VECTOR DE MASAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>83,546.7060</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>83,546.7060</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>71,477.6100</td> </tr> </tbody> </table>	NIVEL	VECTOR DE MASAS	1	83,546.7060	2	83,546.7060	3	71,477.6100				
NIVEL	VECTOR DE MASAS												
1	83,546.7060												
2	83,546.7060												
3	71,477.6100												
$k := \begin{bmatrix} 221982.501 \\ 221982.501 \\ 221982.501 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>NIVEL</th> <th>VECTOR DE RIGIDEZES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>221982.50105</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>221982.50105</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>221982.50105</td> </tr> </tbody> </table>	NIVEL	VECTOR DE RIGIDEZES	1	221982.50105	2	221982.50105	3	221982.50105				
NIVEL	VECTOR DE RIGIDEZES												
1	221982.50105												
2	221982.50105												
3	221982.50105												
<p>• Matriz de masas:</p> $M = \begin{bmatrix} 83546.706 & 0 & 0 \\ 0 & 83546.706 & 0 \\ 0 & 0 & 71477.61 \end{bmatrix} \text{ kg}$	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>83546.706</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>83546.706</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>71477.61</td> </tr> </tbody> </table>	83546.706	0	0	0	83546.706	0	0	0	71477.61			
83546.706	0	0											
0	83546.706	0											
0	0	71477.61											
<p>• Matriz de rigideces:</p> $K = \begin{bmatrix} 443965.002 & -221982.501 & 0 \\ -221982.501 & 443965.002 & -221982.501 \\ 0 & -221982.501 & 221982.501 \end{bmatrix} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$ $\omega := \text{sort}(\sqrt{\text{genvals}(K, M)}) \frac{1}{s} = \begin{bmatrix} 23.655 \\ 65.459 \\ 92.863 \end{bmatrix} \frac{1}{s}$	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>443965.0021</td> <td>-221982.50105</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>-221982.50105</td> <td>443965.0021</td> <td>-221982.50105</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>-221982.50105</td> <td>221982.50105</td> </tr> </tbody> </table> <p>PERIODOS CIRCULARES</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>23.65946549952867</td> </tr> <tr> <td>65.47049588603622</td> </tr> <tr> <td>92.87882639499654</td> </tr> </tbody> </table>	443965.0021	-221982.50105	0	-221982.50105	443965.0021	-221982.50105	0	-221982.50105	221982.50105	23.65946549952867	65.47049588603622	92.87882639499654
443965.0021	-221982.50105	0											
-221982.50105	443965.0021	-221982.50105											
0	-221982.50105	221982.50105											
23.65946549952867													
65.47049588603622													
92.87882639499654													
$T := \frac{2 \pi}{\omega} = \begin{bmatrix} 0.266 \\ 0.096 \\ 0.068 \end{bmatrix} \text{ s}$	<p>PERIODOS NATURALES</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>0.26556750828226316</td> </tr> <tr> <td>0.09596972216213351</td> </tr> <tr> <td>0.06764927533944896</td> </tr> </tbody> </table>	0.26556750828226316	0.09596972216213351	0.06764927533944896									
0.26556750828226316													
0.09596972216213351													
0.06764927533944896													
$F := \frac{1}{T} = \begin{bmatrix} 3.765 \\ 10.418 \\ 14.78 \end{bmatrix} \frac{1}{s}$	<p>VECTOR DE FRECUENCIAS</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>3.765520889464882</td> </tr> <tr> <td>10.419953058846794</td> </tr> <tr> <td>14.78212434622874</td> </tr> </tbody> </table>	3.765520889464882	10.419953058846794	14.78212434622874									
3.765520889464882													
10.419953058846794													
14.78212434622874													
<p>Φ := “Eigen vectores”</p> <pre> for i ∈ 1..n   for j ∈ 1..n     genvecs(K, M)<sub>i, n+1-j</sub>     Φ<sub>i, j</sub> ← genvecs(K, M)<sub>1, n+1-j</sub>   end for end for Φ</pre> $= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1.785 & 0.356 & -1.31 \\ 2.187 & -0.874 & 0.715 \end{bmatrix}$	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>1.0000</td> <td>1.0000</td> <td>1.0000</td> </tr> <tr> <td>1.7852</td> <td>0.3555</td> <td>-1.3096</td> </tr> <tr> <td>2.1871</td> <td>-0.8736</td> <td>0.7150</td> </tr> </tbody> </table>	1.0000	1.0000	1.0000	1.7852	0.3555	-1.3096	2.1871	-0.8736	0.7150			
1.0000	1.0000	1.0000											
1.7852	0.3555	-1.3096											
2.1871	-0.8736	0.7150											

$\Omega := \begin{cases} \text{“Matriz espectral”} \\ \text{for } i \in 1..n \\ \left\  \begin{array}{l} \Omega_{i,i} \leftarrow \omega_i \\ \Omega \end{array} \right\  \end{cases}$ $= \begin{bmatrix} 23.655 & 0 & 0 \\ 0 & 65.459 & 0 \\ 0 & 0 & 92.863 \end{bmatrix} \frac{1}{s}$	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>23.65946549952867</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>65.47049588603622</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>92.87882639499654</td> </tr> </tbody> </table>	23.65946549952867	0	0	0	65.47049588603622	0	0	0	92.87882639499654
23.65946549952867	0	0								
0	65.47049588603622	0								
0	0	92.87882639499654								
$m_g := \begin{cases} \text{“Matriz de masas generalizada”} \\ \text{for } i \in 1..n \\ \left\  \begin{array}{l} m_{g_{i,i}} \leftarrow \left( (\Phi^T \cdot M \cdot \Phi)^{(i)} \right)_i \\ m_g \end{array} \right\  \end{cases}$ $= \begin{bmatrix} 691719.049 & 0 & 0 \\ 0 & 148657.776 & 0 \\ 0 & 0 & 263378.336 \end{bmatrix} kg$	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>691719.048750066</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>148657.7762331961</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>263378.3363547327</td> </tr> </tbody> </table>	691719.048750066	0	0	0	148657.7762331961	0	0	0	263378.3363547327
691719.048750066	0	0								
0	148657.7762331961	0								
0	0	263378.3363547327								
$k_g := \begin{cases} \text{“Matriz de rigideces generalizada”} \\ \text{for } i \in 1..n \\ \left\  \begin{array}{l} k_{g_{i,i}} \leftarrow \left( (\Phi^T \cdot K \cdot \Phi)^{(i)} \right)_i \\ k_g \end{array} \right\  \end{cases}$ $= \begin{bmatrix} 387071559.136 & 0 & 0 \\ 0 & 636986987.758 & 0 \\ 0 & 0 & 2271251129.765 \end{bmatrix} \frac{kg}{s^2}$	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>387203784.77695304</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>637204585.7977068</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>2272027000.8631616</td> </tr> </tbody> </table>	387203784.77695304	0	0	0	637204585.7977068	0	0	0	2272027000.8631616
387203784.77695304	0	0								
0	637204585.7977068	0								
0	0	2272027000.8631616								
$\Gamma := \begin{cases} \text{“Participacion modal”} \\ \text{for } i \in 1..n \\ \left\  \begin{array}{l} \Gamma_i \leftarrow \frac{\left( (\Phi^{(i)})^T \cdot M \cdot J \right)}{m_{g_{i,i}}} \\ \Gamma \end{array} \right\  \end{cases} = \begin{bmatrix} 0.562 \\ 0.342 \\ 0.096 \end{bmatrix}$	<p style="text-align: center;"><u>VECTOR DE PARTICIPACION MODAL</u></p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>0.5624036801589952</td> </tr> <tr> <td>0.34175026103654504</td> </tr> <tr> <td>0.09584605880445936</td> </tr> </tbody> </table>	0.5624036801589952	0.34175026103654504	0.09584605880445936						
0.5624036801589952										
0.34175026103654504										
0.09584605880445936										

$\Phi_N := \begin{cases} \text{“Matriz modal normalizado”} \\ \text{for } i \in 1..n \\ \left\  \begin{array}{l} \text{for } j \in 1..n \\ \left\  \begin{array}{l} \left( \Phi^{(j)} \right)_i \\ \Phi_{N,i,j} \leftarrow \frac{\phantom{\left( \Phi^{(j)} \right)_i}}{\sqrt{m_{g_{j,j}}}} \end{array} \right\  \end{array} \right\  \\ \Phi_N \end{cases}$ $= \begin{bmatrix} 0.001 & 0.003 & 0.002 \\ 0.002 & 9.22 \cdot 10^{-4} & -0.003 \\ 0.003 & -0.002 & 0.001 \end{bmatrix} \frac{1}{\text{kg}^2}$	0.0012023616956374104 0.0025936190300156086 0.0019485429138932666 0.0021465053547868383 0.000922041711073976 -0.0025518045873832193 0.002629667597083858 -0.002265829594820454 0.0013932909280822202
$M_e := \begin{cases} \text{“Vector de masas efectivas”} \\ \text{for } i \in 1..n \\ \left\  \begin{array}{l} M_{e_i} \leftarrow \frac{\left( \left( \Phi^{(i)} \right)^T \cdot M \cdot J \right)^2}{\left( \Phi^{(i)} \right)^T \cdot M \cdot \Phi^{(i)}} \end{array} \right\  \\ M_e \end{cases}$ $= \begin{bmatrix} 218789.282 \\ 17362.223 \\ 2419.516 \end{bmatrix} \text{kg}$	<u>VECTOR DE MASAS EFECTIVAS</u> 218789.2821336122 17362.223474019076 2419.5163923687364
$\Gamma_N := \begin{cases} \text{“Participación de masa modales”} \\ \text{for } i \in 1..n \\ \left\  \begin{array}{l} \Gamma_{N_i} \leftarrow \left( \Phi_N^{(i)} \right)^T \cdot M \cdot J \end{array} \right\  \\ \Gamma_N \end{cases}$ $= \begin{bmatrix} 467.749 \\ 131.766 \\ 49.189 \end{bmatrix} \frac{1}{\text{kg}^2}$	<u>FACTORES DE PARTICIPACION DE MASAS MODALES</u> 467.7491658288791 131.76579022651924 49.18857989786591
$Pm := \begin{cases} \text{“Participacion de masas”} \\ \text{for } i \in 1..n \\ \left\  \begin{array}{l} Pm_i \leftarrow \frac{M_{e_i}}{M_{1,1} + M_{2,2} + M_{3,3}} \end{array} \right\  \\ Pm \end{cases} = \begin{bmatrix} 0.917 \\ 0.073 \\ 0.01 \end{bmatrix}$	0.9170823861986566 0.07277591104094393 0.010141702760399527

$\Gamma_i := \frac{\sum_{j=1}^n (M_{n+1-i,j} \cdot \Phi_{i,j}^1)}{\sum_{j=1}^n (M_{n+1-i,j} \cdot \Phi_{i,j}^2)} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.813 \\ 0.457 \end{bmatrix}$	<p style="text-align: center;"><u>COEFICIENTE MODAL</u></p> <p>1</p> <p>2.812908568956834</p> <p>0.4572295361477461</p>												
$S_{a1} := 115.26234 \frac{cm}{s^2}$ $S_{a2} := 124.1672686 \frac{cm}{s^2}$ $S_{a3} := 158.848497 \frac{cm}{s^2}$	<p style="text-align: center;"><u>VECTOR DE ACELERACIONES</u></p> <p>115.26234083266934</p> <p>124.16726867989304</p> <p>158.84849762328963</p>												
<p>MODO 1</p> $A_1 := a_1 \cdot \Phi^{(1)} = \begin{bmatrix} 115.262 \\ 205.771 \\ 252.089 \end{bmatrix} \frac{cm}{s^2}$ <p>MODO 2</p> $A_2 := a_2 \cdot \Phi^{(2)} = \begin{bmatrix} 349.271 \\ 124.167 \\ -305.129 \end{bmatrix} \frac{cm}{s^2}$ <p>MODO 3</p> $A_3 := a_3 \cdot \Phi^{(3)} = \begin{bmatrix} 72.63 \\ -95.116 \\ 51.934 \end{bmatrix} \frac{cm}{s^2}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>MODO1</th> <th>MODO2</th> <th>MODO3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>115.26234083266934</td> <td>349.2711740536366</td> <td>72.63022488606306</td> </tr> <tr> <td>205.77105267099319</td> <td>124.16726867989303</td> <td>-95.11627366554507</td> </tr> <tr> <td>252.08857197585792</td> <td>-305.12922431158023</td> <td>51.9336950275996</td> </tr> </tbody> </table>	MODO1	MODO2	MODO3	115.26234083266934	349.2711740536366	72.63022488606306	205.77105267099319	124.16726867989303	-95.11627366554507	252.08857197585792	-305.12922431158023	51.9336950275996
MODO1	MODO2	MODO3											
115.26234083266934	349.2711740536366	72.63022488606306											
205.77105267099319	124.16726867989303	-95.11627366554507											
252.08857197585792	-305.12922431158023	51.9336950275996											
<p>MODO 1</p> $P_1 := M_{3,3} \cdot A_1 = \begin{bmatrix} 8401.112 \\ 14998.009 \\ 18373.949 \end{bmatrix} kgf$ <p>MODO 2</p> $P_2 := M_{2,2} \cdot A_2 = \begin{bmatrix} 29755.784 \\ 10578.298 \\ -25995.158 \end{bmatrix} kgf$ <p>MODO 3</p> $P_3 := M_{1,1} \cdot A_3 = \begin{bmatrix} 6187.654 \\ -8103.329 \\ 4424.436 \end{bmatrix} kgf$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>MODO1</th> <th>MODO2</th> <th>MODO3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8398.243267813063</td> <td>29745.62292857697</td> <td>6185.54133055025</td> </tr> <tr> <td>14992.88792263681</td> <td>10574.685312152938</td> <td>-8100.562030327051</td> </tr> <tr> <td>18367.674447652706</td> <td>-25986.280933300353</td> <td>4422.924719637641</td> </tr> </tbody> </table>	MODO1	MODO2	MODO3	8398.243267813063	29745.62292857697	6185.54133055025	14992.88792263681	10574.685312152938	-8100.562030327051	18367.674447652706	-25986.280933300353	4422.924719637641
MODO1	MODO2	MODO3											
8398.243267813063	29745.62292857697	6185.54133055025											
14992.88792263681	10574.685312152938	-8100.562030327051											
18367.674447652706	-25986.280933300353	4422.924719637641											
<p>MODO 1</p> $V_{1_1} := P_{1_1}$ $V_{1_2} := P_{1_1} + P_{1_2}$ $V_{1_3} := P_{1_1} + P_{1_2} + P_{1_3}$ <p>MODO 2</p> $V_{2_1} := P_{2_1}$ $V_{2_2} := P_{2_1} + P_{2_2}$ $V_{2_3} := P_{2_1} + P_{2_2} + P_{2_3}$ $V_1 = \begin{bmatrix} 8401.112 \\ 23399.122 \\ 41773.07 \end{bmatrix} kgf$ $V_2 = \begin{bmatrix} 29755.784 \\ 40334.082 \\ 14338.924 \end{bmatrix} kgf$ <p>MODO 3</p> $V_{3_1} := P_{3_1}$ $V_{3_2} := P_{3_1} + P_{3_2}$ $V_{3_3} := P_{3_1} + P_{3_2} + P_{3_3}$ $V_3 = \begin{bmatrix} 6187.654 \\ -1915.675 \\ 2508.761 \end{bmatrix} kgf$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>MODO1</th> <th>MODO2</th> <th>MODO3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8398.243267813063</td> <td>29745.62292857697</td> <td>6185.54133055025</td> </tr> <tr> <td>23391.131190449873</td> <td>40320.30824072991</td> <td>-1915.020699776801</td> </tr> <tr> <td>41758.80563810258</td> <td>14334.027307429555</td> <td>2507.90401986084</td> </tr> </tbody> </table>	MODO1	MODO2	MODO3	8398.243267813063	29745.62292857697	6185.54133055025	23391.131190449873	40320.30824072991	-1915.020699776801	41758.80563810258	14334.027307429555	2507.90401986084
MODO1	MODO2	MODO3											
8398.243267813063	29745.62292857697	6185.54133055025											
23391.131190449873	40320.30824072991	-1915.020699776801											
41758.80563810258	14334.027307429555	2507.90401986084											

<p>MODO 1</p> $\Delta_{A1} := \frac{A_1 \cdot \left(\frac{T_1}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot 2}{10} = 0.041 \text{ cm}$ <p>MODO 2</p> $\Delta_{A2} := \frac{A_2 \cdot \left(\frac{T_2}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot 2}{10} = 0.016 \text{ cm}$ <p>MODO 3</p> $\Delta_{A3} := \frac{A_3 \cdot \left(\frac{T_3}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot 2}{10} = 0.002 \text{ cm}$	<p style="text-align: right;">F. de comportamiento sismico 2</p> <p>DESPLAZAMIENTO EN AZOTEA</p> <p>0.041182013137297954 0.016296767849581933 0.001683890886181726</p>												
<p>MODO 1</p> $\Delta_1 := \Delta_{A1} \cdot \Phi^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.041 \\ 0.074 \\ 0.09 \end{bmatrix} \text{ cm}$ <p>MODO 2</p> $\Delta_2 := \Delta_{A2} \cdot \Phi^{(2)} = \begin{bmatrix} 0.016 \\ 0.006 \\ -0.014 \end{bmatrix} \text{ cm}$ <p>MODO 3</p> $\Delta_3 := \Delta_{A3} \cdot \Phi^{(3)} = \begin{bmatrix} 0.002 \\ -0.002 \\ 0.001 \end{bmatrix} \text{ cm}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>MODO1</th> <th>MODO2</th> <th>MODO3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.041182013137297954</td> <td>0.016296767849581933</td> <td>0.001683890886181726</td> </tr> <tr> <td>0.07351981690771485</td> <td>0.0057935647213821755</td> <td>-0.002205217271517939</td> </tr> <tr> <td>0.09006857580607101</td> <td>-0.014237132927451959</td> <td>0.0012040534898508488</td> </tr> </tbody> </table>	MODO1	MODO2	MODO3	0.041182013137297954	0.016296767849581933	0.001683890886181726	0.07351981690771485	0.0057935647213821755	-0.002205217271517939	0.09006857580607101	-0.014237132927451959	0.0012040534898508488
MODO1	MODO2	MODO3											
0.041182013137297954	0.016296767849581933	0.001683890886181726											
0.07351981690771485	0.0057935647213821755	-0.002205217271517939											
0.09006857580607101	-0.014237132927451959	0.0012040534898508488											
$A_C := \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2} = \begin{bmatrix} 374.901 \\ 258.469 \\ 399.186 \end{bmatrix} \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$	<p>ACELERACIONES COMBINADAS</p> <p>374.901200059472 258.46922881606673 399.18617251732763</p>												
$P_C := \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + P_3^2} = \begin{bmatrix} 31532.086 \\ 20062.518 \\ 32139.164 \end{bmatrix} \text{ kgf}$	<p>FUERZAS FICTICIAS COMBINADAS</p> <p>31521.318102934667 20055.6666037055 32128.1889379863</p>												
$V_C := \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2} = \begin{bmatrix} 31532.086 \\ 46669.335 \\ 44236.727 \end{bmatrix} \text{ kgf}$	<p>FUERZAS CORTANTES COMBINADAS</p> <p>31521.318102934667 46653.39836793117 44221.62106643987</p>												
$\Delta_C := \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2} = \begin{bmatrix} 0.044 \\ 0.074 \\ 0.091 \end{bmatrix} \text{ cm}$	<p>DESPLAZAMIENTOS COMBINADOS</p> <p>0.04432130793309596 0.07378070109140573 0.09119481370414834</p>												
<p>Tiempo invertido: 3 hr, 39 min.</p>	<p>Tiempo invertido: 6 min.</p>												

Figura 4.31 Comparación análisis método dinámico. Fuente: Autoría propia (2021)

Las acciones obtenidas de un análisis sísmico se pueden distribuir a los elementos estructurales de cada nivel en función de su rigidez relativa. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2019)

Análisis sin software	Análisis con software																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 3</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">CENTRO DE MASAS</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">466.3404</td><td style="text-align: center;">649.7657</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 2</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">CENTRO DE MASAS</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">467.146</td><td style="text-align: center;">646.444</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 1</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">CENTRO DE MASAS</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">467.3873</td><td style="text-align: center;">645.4478</td></tr> </table>	NIVEL 3		CENTRO DE MASAS		X	Y	466.3404	649.7657	NIVEL 2		CENTRO DE MASAS		X	Y	467.146	646.444	NIVEL 1		CENTRO DE MASAS		X	Y	467.3873	645.4478	<p>Nivel 1 C. Masas (x): 467.38727 C. Masas (y): 645.44785</p> <p>Nivel 2 C. Masas (x): 467.14604 C. Masas (y): 646.44403</p> <p>Nivel 3 C. Masas (x): 466.34043 C. Masas (y): 649.7657</p>
NIVEL 3																									
CENTRO DE MASAS																									
X	Y																								
466.3404	649.7657																								
NIVEL 2																									
CENTRO DE MASAS																									
X	Y																								
467.146	646.444																								
NIVEL 1																									
CENTRO DE MASAS																									
X	Y																								
467.3873	645.4478																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 3</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">CENTRO DE CORTANTE</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">466.3404</td><td style="text-align: center;">649.7657</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 2</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">CENTRO DE CORTANTE</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">513.7653</td><td style="text-align: center;">716.6662</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 1</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">CENTRO DE CORTANTE</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">882.0637</td><td style="text-align: center;">1224.851</td></tr> </table>	NIVEL 3		CENTRO DE CORTANTE		X	Y	466.3404	649.7657	NIVEL 2		CENTRO DE CORTANTE		X	Y	513.7653	716.6662	NIVEL 1		CENTRO DE CORTANTE		X	Y	882.0637	1224.851	<p>Nivel 1 C. Cortantes (x): 1085.51723 C. Cortantes (y): 1516.08124</p> <p>Nivel 2 C. Cortantes (x): 399.74714 C. Cortantes (y): 557.22308</p> <p>Nivel 3 C. Cortantes (x): 466.34043 C. Cortantes (y): 649.7657 C</p>
NIVEL 3																									
CENTRO DE CORTANTE																									
X	Y																								
466.3404	649.7657																								
NIVEL 2																									
CENTRO DE CORTANTE																									
X	Y																								
513.7653	716.6662																								
NIVEL 1																									
CENTRO DE CORTANTE																									
X	Y																								
882.0637	1224.851																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 3</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">CENTRO DE TORSION</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">448.8054</td><td style="text-align: center;">880.7912</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 2</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">CENTRO DE TORSION</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">448.8054</td><td style="text-align: center;">880.7912</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 1</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">CENTRO DE TORSION</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">448.8054</td><td style="text-align: center;">880.7912</td></tr> </table>	NIVEL 3		CENTRO DE TORSION		X	Y	448.8054	880.7912	NIVEL 2		CENTRO DE TORSION		X	Y	448.8054	880.7912	NIVEL 1		CENTRO DE TORSION		X	Y	448.8054	880.7912	<p>Nivel 1 C. de torsión (x): 448.8054 C. de torsión (y): 880.7912</p> <p>Nivel 2 C. de torsión (x): 448.8054 C. de torsión (y): 880.79124</p> <p>Nivel 3 C. de torsión (x): 448.8054 C. de torsión (y): 880.79124</p>
NIVEL 3																									
CENTRO DE TORSION																									
X	Y																								
448.8054	880.7912																								
NIVEL 2																									
CENTRO DE TORSION																									
X	Y																								
448.8054	880.7912																								
NIVEL 1																									
CENTRO DE TORSION																									
X	Y																								
448.8054	880.7912																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 3</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">EXCENTRICIDAD ESTATICA</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">17.53502227</td><td style="text-align: center;">231.0255414</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 2</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">EXCENTRICIDAD ESTATICA</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">18.34063421</td><td style="text-align: center;">234.3472102</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">NIVEL 1</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">EXCENTRICIDAD ESTATICA</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">X</td><td style="text-align: center;">Y</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">18.58186572</td><td style="text-align: center;">235.343391</td></tr> </table>	NIVEL 3		EXCENTRICIDAD ESTATICA		X	Y	17.53502227	231.0255414	NIVEL 2		EXCENTRICIDAD ESTATICA		X	Y	18.34063421	234.3472102	NIVEL 1		EXCENTRICIDAD ESTATICA		X	Y	18.58186572	235.343391	<p>Nivel 1 E. estaticas (x): 18.58187 E. estaticas (y): 235.34339</p> <p>Nivel 2 E. estaticas (x): 18.34064 E. estaticas (y): 234.34721</p> <p>Nivel 3 E. estaticas (x): 17.53503 E. estaticas (y): 231.02554 I</p>
NIVEL 3																									
EXCENTRICIDAD ESTATICA																									
X	Y																								
17.53502227	231.0255414																								
NIVEL 2																									
EXCENTRICIDAD ESTATICA																									
X	Y																								
18.34063421	234.3472102																								
NIVEL 1																									
EXCENTRICIDAD ESTATICA																									
X	Y																								
18.58186572	235.343391																								

<table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 3</td></tr> <tr><td colspan="2">EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL</td></tr> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>88.5</td><td>113</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 2</td></tr> <tr><td colspan="2">EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL</td></tr> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>66.375</td><td>84.75</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 1</td></tr> <tr><td colspan="2">EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL</td></tr> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>44.25</td><td>56.5</td></tr> </table>	NIVEL 3		EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL		X	Y	88.5	113	NIVEL 2		EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL		X	Y	66.375	84.75	NIVEL 1		EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL		X	Y	44.25	56.5	<p>Nivel 1 <sup>3</sup> E. accidentales (x): 44.25 E. accidentales (y): 56.5</p> <p>Nivel 2 E. accidentales (x): 66.375 E. accidentales (y): 84.75</p> <p>Nivel 3 E. accidentales (x): 88.5 E. accidentales (y): 113 E. di</p>
NIVEL 3																									
EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL																									
X	Y																								
88.5	113																								
NIVEL 2																									
EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL																									
X	Y																								
66.375	84.75																								
NIVEL 1																									
EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL																									
X	Y																								
44.25	56.5																								
<table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 3</td></tr> <tr><td colspan="2">EXCENTRICIDAD DE DISEÑO</td></tr> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>106.0350223</td><td>344.0255414</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 2</td></tr> <tr><td colspan="2">EXCENTRICIDAD DE DISEÑO</td></tr> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>84.71563421</td><td>319.0972102</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 1</td></tr> <tr><td colspan="2">EXCENTRICIDAD DE DISEÑO</td></tr> <tr><td>X</td><td>Y</td></tr> <tr><td>62.83186572</td><td>291.843391</td></tr> </table>	NIVEL 3		EXCENTRICIDAD DE DISEÑO		X	Y	106.0350223	344.0255414	NIVEL 2		EXCENTRICIDAD DE DISEÑO		X	Y	84.71563421	319.0972102	NIVEL 1		EXCENTRICIDAD DE DISEÑO		X	Y	62.83186572	291.843391	<p>Nivel 1 <sup>5.5</sup> E. de diseño de entrepiso (x): 62.83187 E. de diseño de entrepiso (y): 291.84339</p> <p>Nivel 2 <sup>4.75</sup> E. de diseño de entrepiso (x): 84.71564 E. de diseño de entrepiso (y): 319.09721</p> <p>Nivel 3 E. de diseño de entrepiso (x): 106.03503 E. de diseño de entrepiso (y): 344.02554 M</p>
NIVEL 3																									
EXCENTRICIDAD DE DISEÑO																									
X	Y																								
106.0350223	344.0255414																								
NIVEL 2																									
EXCENTRICIDAD DE DISEÑO																									
X	Y																								
84.71563421	319.0972102																								
NIVEL 1																									
EXCENTRICIDAD DE DISEÑO																									
X	Y																								
62.83186572	291.843391																								
<table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 3</td></tr> <tr><td colspan="2">RIGIDEZ TORSIONAL</td></tr> <tr><td colspan="2">KT</td></tr> <tr><td colspan="2">239043967894.86</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 2</td></tr> <tr><td colspan="2">RIGIDEZ TORSIONAL</td></tr> <tr><td colspan="2">KT</td></tr> <tr><td colspan="2">239043967894.86</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 1</td></tr> <tr><td colspan="2">RIGIDEZ TORSIONAL</td></tr> <tr><td colspan="2">KT</td></tr> <tr><td colspan="2">239043967894.86</td></tr> </table>	NIVEL 3		RIGIDEZ TORSIONAL		KT		239043967894.86		NIVEL 2		RIGIDEZ TORSIONAL		KT		239043967894.86		NIVEL 1		RIGIDEZ TORSIONAL		KT		239043967894.86		<p>Nivel 1 <sup>3</sup> Rix. torsional de entrepiso: 239043967900.21005</p> <p>Nivel 2 <sup>57</sup> Rix. torsional de entrepiso: 239043967900.21005</p> <p>Nivel 3 Rix. torsional de entrepiso: 239043967900.21005 M</p>
NIVEL 3																									
RIGIDEZ TORSIONAL																									
KT																									
239043967894.86																									
NIVEL 2																									
RIGIDEZ TORSIONAL																									
KT																									
239043967894.86																									
NIVEL 1																									
RIGIDEZ TORSIONAL																									
KT																									
239043967894.86																									
<table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 3</td></tr> <tr><td colspan="2">MOMENTO TORSIONANTE DE ENTREPISO</td></tr> <tr><td>Mx</td><td>My</td></tr> <tr><td>10844138.53</td><td>2814418.557</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 2</td></tr> <tr><td colspan="2">MOMENTO TORSIONANTE DE ENTREPISO</td></tr> <tr><td>Mx</td><td>My</td></tr> <tr><td>6399707.262</td><td>1430537.613</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 1</td></tr> <tr><td colspan="2">MOMENTO TORSIONANTE DE ENTREPISO</td></tr> <tr><td>Mx</td><td>My</td></tr> <tr><td>9376399.594</td><td>1706379.421</td></tr> </table>	NIVEL 3		MOMENTO TORSIONANTE DE ENTREPISO		Mx	My	10844138.53	2814418.557	NIVEL 2		MOMENTO TORSIONANTE DE ENTREPISO		Mx	My	6399707.262	1430537.613	NIVEL 1		MOMENTO TORSIONANTE DE ENTREPISO		Mx	My	9376399.594	1706379.421	<p>Nivel 1 <sup>39</sup> Momentos torsionantes (x): 9376399.57422 Momentos torsionantes (y): 1706379.66663</p> <p>Nivel 2 <sup>721</sup> Momentos torsionantes (x): 6399707.25793 Momentos torsionantes (y): 1430537.71067</p> <p>Nivel 3 Momentos torsionantes (x): 10844138.48187 Momentos torsionantes (y): 2814418.76324 R</p>
NIVEL 3																									
MOMENTO TORSIONANTE DE ENTREPISO																									
Mx	My																								
10844138.53	2814418.557																								
NIVEL 2																									
MOMENTO TORSIONANTE DE ENTREPISO																									
Mx	My																								
6399707.262	1430537.613																								
NIVEL 1																									
MOMENTO TORSIONANTE DE ENTREPISO																									
Mx	My																								
9376399.594	1706379.421																								
<table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 3</td></tr> <tr><td colspan="2">MOMENTO DE VOLTEO DE ENTREPISO</td></tr> <tr><td>MVx</td><td>MVy</td></tr> <tr><td>9456395.43</td><td>7962704.67</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 2</td></tr> <tr><td colspan="2">MOMENTO DE VOLTEO DE ENTREPISO</td></tr> <tr><td>MVx</td><td>MVy</td></tr> <tr><td>6016699.98</td><td>5065904.16</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td colspan="2">NIVEL 1</td></tr> <tr><td colspan="2">MOMENTO DE VOLTEO DE ENTREPISO</td></tr> <tr><td>MVx</td><td>MVy</td></tr> <tr><td>9638456.67</td><td>8147359.95</td></tr> </table>	NIVEL 3		MOMENTO DE VOLTEO DE ENTREPISO		MVx	MVy	9456395.43	7962704.67	NIVEL 2		MOMENTO DE VOLTEO DE ENTREPISO		MVx	MVy	6016699.98	5065904.16	NIVEL 1		MOMENTO DE VOLTEO DE ENTREPISO		MVx	MVy	9638456.67	8147359.95	<p>Nivel 1 <sup>5</sup> M. de volteo de entrepiso (x): 9638456.6814 M. de volteo de entrepiso (y): 8147360.567</p> <p>Nivel 2 <sup>5</sup> M. de volteo de entrepiso (x): 6016699.98111 M. de volteo de entrepiso (y): 5065904.16128</p> <p>Nivel 3 M. de volteo de entrepiso (x): 9456395.43088 M. de volteo de entrepiso (y): 7962704.67383</p>
NIVEL 3																									
MOMENTO DE VOLTEO DE ENTREPISO																									
MVx	MVy																								
9456395.43	7962704.67																								
NIVEL 2																									
MOMENTO DE VOLTEO DE ENTREPISO																									
MVx	MVy																								
6016699.98	5065904.16																								
NIVEL 1																									
MOMENTO DE VOLTEO DE ENTREPISO																									
MVx	MVy																								
9638456.67	8147359.95																								
<p>Tiempo invertido: 1 hr. 21 min</p>	<p>Tiempo invertido: 15 seg.</p>																								

Figura 4.32 Comparación de centros, excentricidades y torsión de entrepiso. Fuente: Autoría propia (2021)

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en ambos procedimientos para la distribución de las fuerzas sísmicas actuantes en cada nivel de la estructura y para cada muro del sistema, además se resaltan los valores más relevantes para el diseño estructural.

NIVEL 1										
MUROS EN X										
MURO	CLASIFICACION	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO		CORTANTE DIRECTO	CORTANTE POR TORSION MUROS X			CORTANTE TOTAL	MOMENTO DE VOLTEO	CARGA AXIAL ULTIMA
		EX (cm)	EY (cm)	V.D. (kgf)	V.T.X. (kgf)	V.T.Y. (kgf)	V. TOTAL (kgf)	MV (kgf*cm)	Pu (kgf)	
1	RIGIDO	72.12279858	0	13850.15208	16.45406821	26.12197394	13892.72812	3017720.789	18017.7044	
2	RIGIDO	72.12279858	0	11006.31523	13.07557205	20.75837708	11040.14918	2398095.42	16049.573	
3	RIGIDO	72.12279858	0	199.9585757	0.06597153	0.104734377	200.1292816	43567.69133	5795.3102	
4	RIGIDO	72.12279858	0	3523.336494	1.162440259	1.845454496	3526.344388	767677.1866	17693.8842	
5	RIGIDO	72.12279858	0	1387.087766	0.06089205	0.096670351	1387.245328	302223.6551	14203.0652	
6	RIGIDO	72.12279858	0	199.9585757	0.100842866	0.160095041	200.2195136	43567.69133	5351.0016	
7	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	3780.729973	275.256874	49.56613886	4105.552986	823759.0006	19164.0784	
8	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	3737.107494	374.4033739	67.4196773	4178.930545	814254.3784	20700.6364	
9	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	3780.729973	378.7737066	68.20665319	4227.710333	823759.0006	15844.8318	
10	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	1292.988653	195.7251918	35.2446858	1523.958531	281721.0031	8405.2366	
11	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	1387.087766	290.880362	52.37949631	1730.347624	302223.6551	11589.4852	
12	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	1.120251216	0.234923188	0.042303159	1.397477563	244.0843512	1467.0104	
13	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	90.15416906	18.90585295	3.404420458	112.4644425	19643.11356	8535.0284	
				44236.727	kg		46127.17775			
MUROS EN Y										
MURO	CLASIFICACION	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO		CORTANTE DIRECTO	CORTANTE POR TORSION MUROS X			CORTANTE TOTAL	MOMENTO DE VOLTEO	CARGA AXIAL ULTIMA
		EX (cm)	EY (cm)	V.D. (kgf)	V.T.X. (kgf)	V.T.Y. (kgf)	V. TOTAL (kgf)	MV (kgf*cm)	Pu (kgf)	
1	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	14998.23551	4659.341395	766.0220591	20423.59897	3270225.683	67063.0656	
2	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	52.09204173	10.41365009	1.712062931	64.21775475	11358.18494	6975.962	
3	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	1874.704493	160.6566496	26.41286119	2061.774004	408761.8691	29202.6916	
4	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	408.4655074	35.00429007	5.754903127	449.2247006	89062.10279	21636.9844	
5	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	77.05743602	3.936669881	0.647210778	81.64131668	16801.65684	5986.2072	
6	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	1758.68446	118.319503	19.45239502	1896.456358	383464.7805	33695.7788	
7	FLEXIBLE	72.12279858	409.5150864	3127.404233	210.4032434	34.59148239	3372.398958	681901.3899	30531.0504	
8	RIGIDO	25.66813428	409.5150864	19.26435901	0.499057163	2.435909265	22.19932543	4200.414211	5113.509	
9	RIGIDO	25.66813428	409.5150864	52.09204173	1.349482045	6.586852281	60.02837605	11358.18494	7394.1348	
10	RIGIDO	25.66813428	409.5150864	14998.23551	685.6101012	3346.478359	19030.32397	3270225.683	77465.114	
	83546.706			37366.2356	kg		47461.86374			

Figura 4.33 Distribución de fuerzas sísmicas en elementos resistentes de nivel 1 de forma tradicional. Fuente: Autoría propia (2021)

INFORMACIÓN DE MUROS HORIZONTALES												
MURO	INERCIA	AREA LONGITUDINAL	RIGIDEZ LATERAL	CORTANTE DIRECTO	CLASIFICACIÓN	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (X)	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (Y)	CORTANTE POR TORSIÓN (X)	CORTANTE POR TORSIÓN (Y)	CORTANTES TOTALES	MOMENTO DE VOLTEO	CARGA AXIAL MAXIMA
1	74148750	5850	69500.87873	13845.42254	Rigido	72.1228	0	16.45407	26.12198	3887.99859	3017720.79236	18017.7044
2	55923593.75	5325	55230.33795	11002.5568	Rigido	72.1228	0	13.07558	20.75838	1036.39076	2398095.42334	16049.573
3	767656.25	1275	1003.40391	199.89029	Rigido	72.1228	0	0.06597	0.10473	200.06099	43567.69148	5795.3102
4	15208750	3450	17680.31	3522.13335	Rigido	72.1228	0	1.16244	1.84545	3525.14124	767677.18736	17693.8842
5	5615156.25	2475	6960.48809	1386.6141	Rigido	72.1228	0	0.06089	0.09667	386.77166	302223.65556	14203.0652
6	767656.25	1275	1003.40391	199.89029	Rigido	72.1228	0	0.10084	0.1601	200.15123	43567.69148	5351.0016
7	16430320	3540	18971.92564	3779.43893	Flexible	72.1228	409.51508	275.25687	49.56614	4104.26194	823759.00163	19164.0784
8	16222343.75	3525	18753.02547	3735.83135	Flexible	72.1228	409.51508	374.40337	67.41968	1177.6544	814254.37943	20700.6364
9	16430320	3540	18971.92564	3779.43893	Flexible	72.1228	409.51508	378.77371	68.20666	4226.4193	823759.00163	15844.8318
10	5216601.25	2415	6488.2932	1292.54712	Flexible	72.1228	409.51508	195.72519	35.24469	523.517	281721.00345	8405.2366
11	5615156.25	2475	6960.48809	1386.6141	Flexible	72.1228	409.51508	290.88036	52.3795	729.87396	302223.65556	11589.4852
12	4218.75	225	5.62149	1.11987	Flexible	72.1228	409.51508	0.23492	0.0423	3.9709	244.0845	1467.0104
13	343281.25	975	452.39893	90.12338	Flexible	72.1228	409.51508	18.90585	3.40442	12.43365	19643.11362	8535.0284
INFORMACIÓN DE MUROS VERTICALES												
MURO	INERCIA	AREA LONGITUDINAL	RIGIDEZ LATERAL	CORTANTE DIRECTO	CLASIFICACIÓN	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (X)	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (Y)	CORTANTE POR TORSIÓN (X)	CORTANTE POR TORSIÓN (Y)	CORTANTES TOTALES	MOMENTO DE VOLTEO	CARGA AXIAL MAXIMA
1	1876404531.25	17175	538995.03299	15111.93154	Flexible	72.1228	409.51508	4659.34145	766.02229	20537.29528	3270225.93105	67063.0656
2	1447031.25	1575	1872.04366	52.48693	Flexible	72.1228	409.51508	10.41365	1.71206	64.61264	11358.18578	6975.962
3	71333281.25	5775	67371.68577	1888.91593	Flexible	72.1228	409.51508	160.65665	26.41287	2075.98545	408761.90009	29202.6916
4	12422968.75	3225	14679.11871	411.56193	Flexible	72.1228	409.51508	35.00429	5.7549	452.32112	89062.1095	21636.9844
5	2160000	1800	2769.23077	77.64158	Flexible	72.1228	409.51508	3.93667	0.64721	82.22546	16801.65812	5986.2072
6	65917968.75	5625	63202.24719	1772.01639	Flexible	72.1228	409.51508	118.31951	19.4524	1909.7883	383464.80953	33695.7788
7	138240000	7200	112390.2439	3151.11192	Flexible	72.1228	409.51508	210.40325	34.59149	3396.10666	681901.44158	30531.0504
8	527343.75	1125	692.30769	19.41039	Rigido	25.66813	409.51508	0.49906	2.43591	22.34536	4200.41452	5113.509
9	1447031.25	1575	1872.04366	52.48693	Rigido	25.66813	409.51508	1.34948	6.58685	60.42326	11358.18578	7394.1348
10	1876404531.25	17175	538995.03299	15111.93154	Rigido	25.66813	409.51508	685.61004	3346.47837	19144.01995	3270225.93105	77465.114

Figura 4.34 Distribución de fuerzas sísmicas en elementos resistentes del nivel 1 con uso del software. Fuente: Autoría propia (2021)

NIVEL 2										
MUROS EN X										
MURO	CLASIFICACION	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO		CORTANTE DIRECTO			CORTANTE POR TORSION MUROS X			CARGA AXIAL ULTIMA Pu (kgf)
		EX (cm)	EY (cm)	V.D. (kgf)	V.T.X. (kgf)	V.T.Y. (kgf)	V. TOTAL (kgf)	MOMENTO DE VOLTEO MV (kg*cm)		
1	RIGIDO	93.88595132	0	14611.78146	10.09807032	24.36336751	14646.2429	1883778.828	11818.0082	
2	RIGIDO	93.88595132	0	11611.56006	8.024644385	19.36086342	11638.94557	1496984.545	10535.2565	
3	RIGIDO	93.88595132	0	210.9544351	0.040487564	0.097683357	211.092606	27196.64948	3757.7531	
4	RIGIDO	93.88595132	0	3717.087187	0.713404328	1.72121319	3719.521805	479213.9936	11441.2251	
5	RIGIDO	93.88595132	0	1463.364674	0.037370223	0.090162225	1463.492207	188659.7743	9162.9056	
6	RIGIDO	93.88595132	0	210.9544351	0.061888546	0.149316983	211.1656406	27196.64948	3476.6598	
7	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	3988.634911	171.09874	44.63346504	4204.367116	514222.4458	12377.7952	
8	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	3942.613601	232.7278683	60.71027276	4236.051742	508289.2905	13348.8292	
9	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	3988.634911	235.4444524	61.41893116	4285.498294	514222.4458	10277.8629	
10	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	1364.090987	121.6621159	31.73724013	1517.490343	175861.2205	5490.5923	
11	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	1463.364674	180.8102472	47.16684557	1691.341767	188659.7743	7509.4156	
12	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	1.1818546	0.146027457	0.038093275	1.365975333	152.3669568	944.2262	
13	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	95.11180874	11.75181412	3.065622721	109.9292456	12261.9964	5469.5552	
				46669.335	kg		47936.50521			
MUROS EN Y										
MURO	CLASIFICACION	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO		CORTANTE DIRECTO			CORTANTE POR TORSION MUROS Y			CARGA AXIAL ULTIMA Pu (kgf)
		EX (cm)	EY (cm)	V.D. (kgf)	V.T.X. (kgf)	V.T.Y. (kgf)	V. TOTAL (kgf)	MOMENTO DE VOLTEO MV (kg*cm)		
1	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	15833.15721	3274.539913	470.1174518	19577.81457	2033376.455	43657.9518	
2	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	54.99190122	7.318612219	1.050714732	63.36122817	7062.34617	4526.186	
3	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	1979.065533	112.9079341	16.20990786	2108.183375	254161.8961	18888.8548	
4	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	431.203963	24.60067535	3.531857028	459.3364954	55377.45721	13919.7232	
5	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	81.34706895	2.766653387	0.397201462	84.5109238	10447.01398	3916.1316	
6	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	1856.586897	83.15379843	11.9381815	1951.678877	238432.5522	21720.6764	
7	FLEXIBLE	93.88595132	436.2708154	3301.500554	147.8693575	21.22923141	3470.599143	423995.8845	19831.3212	
8	RIGIDO	48.03436579	436.2708154	20.33676724	0.580695041	1.514152944	22.43161522	2611.753495	3315.6645	
9	RIGIDO	48.03436579	436.2708154	54.99190122	1.570236016	4.094365055	60.65650229	7062.34617	4790.7444	
10	RIGIDO	48.03436579	436.2708154	15833.15721	797.7650965	2080.159607	18711.08191	2033376.455	50238.842	
	83546.706			39446.339	kg		46509.65464			

Figura 4.35 Distribución de fuerzas sísmicas elementos resistentes de nivel 2 de manera tradicional. Fuente: Autoría propia (2021)

INFORMACIÓN DE MUROS HORIZONTALES												
MURO	INERCIA	AREA LONGITUDINAL	RIGIDEZ LATERAL	CORTANTE DIRECTO	CLASIFICACIÓN	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (X)	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (Y)	CORTANTE POR TORSIÓN (X)	CORTANTE POR TORSIÓN (Y)	CORTANTES TOTALES	MOMENTO DE VOLTEO	CARGA AXIAL MAXIMA
1	74148750	5850	69500.87873	14606.79183	Rigido	93.88596	0	10.09807	24.36337	14641.25327	1883778.82835	11818.0082
2	55923593.75	5325	55230.33795	11607.59495	Rigido	93.88596	0	8.02465	19.36086	11634.98046	1496984.54486	10535.2565
3	767656.25	1275	1003.40391	210.8824	Rigido	93.88596	0	0.04049	0.09768	211.02057	27196.64955	3757.7531
4	15208750	3450	17680.31	3715.81788	Rigido	93.88596	0	0.7134	1.72121	3718.25249	479213.99362	11441.2251
5	5615156.25	2475	6960.48809	1462.86497	Rigido	93.88596	0	0.03737	0.09016	1462.9925	188659.77436	9162.9056
6	767656.25	1275	1003.40391	210.8824	Rigido	93.88596	0	0.06189	0.14932	211.09361	27196.64955	3476.6598
7	16430320	3540	18971.92564	3987.27287	Flexible	93.88596	436.27082	171.09874	44.63347	4203.00508	514222.44591	12377.7952
8	16222343.75	3525	18753.02547	3941.26728	Flexible	93.88596	436.27082	232.72787	60.71027	4234.70542	508289.29063	13348.8292
9	16430320	3540	18971.92564	3987.27287	Flexible	93.88596	436.27082	235.44445	61.41893	4284.13625	514222.44591	10277.8629
10	5216601.25	2415	6488.2932	1363.62518	Flexible	93.88596	436.27082	121.66212	31.73724	1517.02454	175861.22054	5490.5923
11	5615156.25	2475	6960.48809	1462.86497	Flexible	93.88596	436.27082	180.81025	47.16685	1690.84207	188659.77436	7509.4156
12	4218.75	225	5.62149	1.18145	Flexible	93.88596	436.27082	0.14603	0.03809	1.36557	152.36705	944.2262
13	343281.25	975	452.39893	95.07933	Flexible	93.88596	436.27082	11.75181	3.06562	109.89676	12261.99642	5469.5552
INFORMACIÓN DE MUROS VERTICALES												
MURO	INERCIA	AREA LONGITUDINAL	RIGIDEZ LATERAL	CORTANTE DIRECTO	CLASIFICACIÓN	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (X)	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (Y)	CORTANTE POR TORSIÓN (X)	CORTANTE POR TORSIÓN (Y)	CORTANTES TOTALES	MOMENTO DE VOLTEO	CARGA AXIAL MAXIMA
1	1876404531.25	17175	538995.03299	15827.75054	Flexible	93.88596	436.27082	3274.53989	470.1176	19572.40803	2033376.45563	43657.9518
2	1447031.25	1575	1872.04366	54.97312	Flexible	93.88596	436.27082	7.31861	1.05072	63.34245	7062.34616	4526.186
3	71333281.25	5775	67371.68577	1978.38973	Flexible	93.88596	436.27082	112.90793	16.20991	2107.50757	254161.89619	18888.8548
4	12422968.75	3225	14679.11871	431.05672	Flexible	93.88596	436.27082	24.60067	3.53186	459.18925	55377.45721	13919.7232
5	2160000	1800	2769.23077	81.31929	Flexible	93.88596	436.27082	2.76665	0.3972	84.48314	10447.01399	3916.1316
6	65917968.75	5625	63202.24719	1855.95291	Flexible	93.88596	436.27082	83.1538	11.93819	1951.0449	238432.55227	21720.6764
7	138240000	7200	112390.2439	3300.37317	Flexible	93.88596	436.27082	147.86936	21.22924	3469.47177	423995.88456	19831.3212
8	527343.75	1125	692.30769	20.32982	Rigido	48.03436	436.27082	0.58069	1.51415	22.42466	2611.75349	3315.6645
9	1447031.25	1575	1872.04366	54.97312	Rigido	48.03436	436.27082	1.57024	4.09437	60.63773	7062.34616	4790.7444
10	1876404531.25	17175	538995.03299	15827.75054	Rigido	48.03436	436.27082	797.76501	2080.15962	18705.67517	2033376.45563	50238.842

Figura 4.36 Distribución de fuerzas sísmicas elementos resistentes de nivel 2 con el uso del software. Fuente: Autoría propia (2021)

NIVEL 3											
MUROS EN X											
MURO	CLASIFICACION	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO		CORTANTE DIRECTO			CORTANTE POR TORSION MUROS X		CORTANTE TOTAL	MOMENTO DE VOLTEO	CARGA AXIAL ULTIMA
		EX (cm)	EY (cm)	V.D. (kgf)	V.T.X. (kgf)	V.T.Y. (kgf)	V. TOTAL (kgf)	MV (kgf*cm)	Pu (kgf)		
1	RIGIDO	93.88595132	0	9869.063087	15.17518528	51.05986851	9935.29814	2960718.926	5618.312		
2	RIGIDO	93.88595132	0	7842.658962	12.05928078	40.57580054	7895.294043	2352797.689	5020.94		
3	RIGIDO	93.88595132	0	142.4824642	0.060843931	0.204721264	142.7480294	42744.73926	1720.196		
4	RIGIDO	93.88595132	0	2510.588326	1.072090263	3.607256639	2515.267673	753176.4978	5188.566		
5	RIGIDO	93.88595132	0	988.3831299	0.056159251	0.188958745	988.6282479	296514.939	4122.746		
6	RIGIDO	93.88595132	0	142.4824642	0.093004913	0.312933156	142.8884023	42744.73926	1602.318		
7	FLEXIBLE	93.88595132	459.5383121	2693.9966	265.102784	91.52827986	3050.627664	808198.9799	5591.512		
8	FLEXIBLE	93.88595132	459.5383121	2662.91297	360.5918185	124.4964251	3148.001214	798873.891	5997.022		
9	FLEXIBLE	93.88595132	459.5383121	2693.9966	364.8009319	125.949646	3184.747178	808198.9799	4710.894		
10	FLEXIBLE	93.88595132	459.5383121	921.3318749	188.5049863	65.08244418	1174.919305	276399.5625	2575.948		
11	FLEXIBLE	93.88595132	459.5383121	988.3831299	280.1499292	96.72339439	1365.256454	296514.939	3429.346		
12	FLEXIBLE	93.88595132	459.5383121	0.798246103	0.226256987	0.078116542	1.102619633	239.4738309	421.442		
13	FLEXIBLE	93.88595132	459.5383121	64.24024637	18.20842539	6.286564893	88.73523665	19272.07391	2404.082		
				31521.3181			33633.51421				
MUROS EN Y											
MURO	CLASIFICACION	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO		CORTANTE DIRECTO			CORTANTE POR TORSION MUROS Y		CORTANTE TOTAL	MOMENTO DE VOLTEO	CARGA AXIAL ULTIMA
		EX (cm)	EY (cm)	V.D. (kgf)	V.T.X. (kgf)	V.T.Y. (kgf)	V. TOTAL (kgf)	MV (kgf*cm)	Pu (kgf)		
1	FLEXIBLE	114.8025334	459.5383121	10653.69293	5693.310504	706.4834379	17053.48687	3196107.878	20252.838		
2	FLEXIBLE	114.8025334	459.5383121	37.00252713	12.72457595	1.578993831	51.3060969	11100.75814	2076.41		
3	FLEXIBLE	114.8025334	459.5383121	1331.658379	196.3084722	24.35993684	1552.326788	399497.5138	8575.018		
4	FLEXIBLE	114.8025334	459.5383121	290.1452029	42.77220222	5.307606612	338.2250118	87043.56088	6202.462		
5	FLEXIBLE	114.8025334	459.5383121	54.73618949	4.810268681	0.596906695	60.14336486	16420.85685	1846.056		
6	FLEXIBLE	114.8025334	459.5383121	1249.245898	144.5761562	17.94046887	1411.762523	374773.7693	9745.574		
7	FLEXIBLE	114.8025334	459.5383121	2221.488276	257.0944892	31.90287944	2510.485644	666446.4827	9131.592		
8	RIGIDO	70.96497773	459.5383121	13.68404737	1.348477693	2.346049776	17.37857484	4105.214212	1517.82		
9	RIGIDO	70.96497773	459.5383121	37.00252713	3.646368729	6.343866557	46.99276241	11100.75814	2187.354		
10	RIGIDO	70.96497773	459.5383121	10653.69293	1852.553165	3223.028427	15729.27452	3196107.878	23012.57		
	71477.61	70.96497773		26542.3489			38771.38215				

Figura 4.37 Distribución de fuerzas sísmicas elementos resistentes de nivel 3 de manera tradicional. Fuente: Autoría propia (2021)

INFORMACIÓN DE MUROS HORIZONTALES										CORTANTES TOTALES	MOMENTO DE VOLTEO	CARGA AXIAL MAXIMA
MURO	INERCIA	AREA LONGITUDINAL	RIGIDEZ LATERAL	CORTANTE DIRECTO	CLASIFICACIÓN	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (X)	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (Y)	CORTANTE POR TORSIÓN (X)	CORTANTE POR TORSIÓN (Y)			
1	74148750	5850	69500.87873	9869.06309	Rigido	114.80254	0	15.17519	51.05987	9935.29815	2960718.92584	5618.312
2	55923593.75	5325	55230.33795	7842.65896	Rigido	114.80254	0	12.05929	40.5758	7895.29405	2352797.68885	5020.94
3	767656.25	1275	1003.40391	142.48246	Rigido	114.80254	0	0.06084	0.20472	142.74802	42744.73936	1720.196
4	15208750	3450	17680.31	2510.58833	Rigido	114.80254	0	1.07209	3.60726	2515.26768	753176.49774	5188.566
5	5615156.25	2475	6960.48809	988.38313	Rigido	114.80254	0	0.05616	0.18896	988.62825	296514.93906	4122.746
6	767656.25	1275	1003.40391	142.48246	Rigido	114.80254	0	0.093	0.31293	142.88839	42744.73936	1602.318
7	16430320	3540	18971.92564	2693.9966	Flexible	114.80254	459.53831	265.10278	91.52828	3050.62766	808198.98005	5591.512
8	16222343.75	3525	18753.02547	2662.91297	Flexible	114.80254	459.53831	360.59182	124.49643	3148.00122	798873.8911	5997.022
9	16430320	3540	18971.92564	2693.9966	Flexible	114.80254	459.53831	364.80093	125.94965	3184.74718	808198.98005	4710.894
10	5216601.25	2415	6488.2932	921.33187	Flexible	114.80254	459.53831	188.50499	65.08245	1174.91931	276399.56249	2575.948
11	5615156.25	2475	6960.48809	988.38313	Flexible	114.80254	459.53831	280.14993	96.7234	1365.25646	296514.93906	3429.346
12	4218.75	225	5.62149	0.79825	Flexible	114.80254	459.53831	0.22626	0.07812	1.10263	239.47398	421.442
13	343281.25	975	452.39893	64.24025	Flexible	114.80254	459.53831	18.20843	6.28657	88.73525	19272.07394	2404.082
INFORMACIÓN DE MUROS VERTICALES										CORTANTES TOTALES	MOMENTO DE VOLTEO	CARGA AXIAL MAXIMA
MURO	INERCIA	AREA LONGITUDINAL	RIGIDEZ LATERAL	CORTANTE DIRECTO	CLASIFICACIÓN	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (X)	EXCENTRICIDAD DE DISEÑO (Y)	CORTANTE POR TORSIÓN (X)	CORTANTE POR TORSIÓN (Y)			
1	1876404531.25	17175	538995.03299	10653.69293	Flexible	114.80254	459.53831	5693.31045	706.48374	17053.48712	3196107.87954	20252.838
2	1447031.25	1575	1872.04366	37.00253	Flexible	114.80254	459.53831	12.72458	1.57899	51.3061	11100.75813	2076.41
3	71333281.25	5775	67371.68577	1331.65838	Flexible	114.80254	459.53831	196.30847	24.35995	1552.3268	399497.51402	8575.018
4	12422968.75	3225	14679.11871	290.1452	Flexible	114.80254	459.53831	42.7722	5.30761	338.22501	87043.56089	6202.462
5	2160000	1800	2769.23077	54.73619	Flexible	114.80254	459.53831	4.81027	0.59691	60.14337	16420.85686	1846.056
6	65917968.75	5625	63202.24719	1249.2459	Flexible	114.80254	459.53831	144.57616	17.94048	1411.76254	374773.76949	9745.574
7	138240000	7200	112390.2439	2221.48828	Flexible	114.80254	459.53831	257.0945	31.90289	2510.48567	666446.48304	9131.592
8	527343.75	1125	692.30769	13.68405	Rigido	70.96497	459.53831	1.34848	2.34605	17.37858	4105.2142	1517.82
9	1447031.25	1575	1872.04366	37.00253	Rigido	70.96497	459.53831	3.64637	6.34387	46.99277	11100.75813	2187.354
10	1876404531.25	17175	538995.03299	10653.69293	Rigido	70.96497	459.53831	1852.55298	3223.02843	15729.27434	3196107.87954	23012.57

Figura 4.38 Distribución de fuerzas sísmicas elementos resistentes de nivel 3 con el uso del software. Fuente: Autoría propia (2021)

Una vez obtenidas las acciones en cada elemento resistente de cada nivel de la estructura, se realizará el diseño de los castillos, para ello se utilizan las solicitaciones de la norma NTCM-17. Mediante iteraciones, se determina el acero de refuerzo variando el mismo en función de su resistencia frente a las acciones a las que es sometido cada elemento; mientras que, las dimensiones de los castillos se determinan en función del acero mínimo y máximo permitido en dicha sección.

A continuación, desde la figura 4.39 a la figura 4.41 se presentan los resultados obtenidos de manera tradicional; mientras que, en las figuras 4.42 y 4.43 se muestra el reporte de resultados finales obtenidos mediante el uso del software.

NIVEL 1													
MUROS EN X													
MURO	V. TOTAL	MV	Pu	bc	As	RESULTADO	VmR	Refuerzo horizontal	Ash	Sep	VsR	VR	Conclusion
1	13892.72812	3017720.789	18017.7044	15	3	OK	14056.875	NO	0.36	12	0	14056.875	OK
2	11040.14918	2398095.42	16049.573	15	3	OK	12265.3125	NO	0.36	12	0	12265.3125	OK
3	200.1292816	43567.69133	5795.3102	15	1	OK	2677.5	NO	0.36	24	0	2677.5	OK
4	3526.344388	767677.1866	17693.8842	15	3	OK	7245	NO	0.36	24	0	7245	OK
5	1387.245328	302223.6551	14203.0652	15	2	OK	5197.5	NO	0.36	24	0	5197.5	OK
6	200.2195136	43567.69133	5351.0016	15	1	OK	2677.5	NO	0.36	24	0	2677.5	OK
7	4105.552986	823759.0006	19164.0784	15	3	OK	7434	NO	0.36	12	0	7434	OK
8	4178.930545	814254.3784	20700.6364	15	3	OK	7402.5	NO	0.36	12	0	7402.5	OK
9	4227.710333	823759.0006	15844.8318	15	2	OK	7434	NO	0.36	12	0	7434	OK
10	1523.958531	281721.0031	8405.2366	15	1	OK	5071.5	NO	0.36	24	0	5071.5	OK
11	1730.347624	302223.6551	11589.4852	15	2	OK	5197.5	NO	0.36	24	0	5197.5	OK
12	1.397477563	244.0843512	1467.0104	15	1	OK	472.5	NO	0.36	24	0	472.5	OK
13	112.4644425	19643.11356	8535.0284	15	2	OK	2047.5	NO	0.36	24	0	2047.5	OK
MUROS EN Y													
MURO	V. TOTAL	MV	Pu	bc	As	RESULTADO	VmR	Refuerzo horizontal	Asv	Sep	VsR	VR	Conclusion
1	20423.59897	3270225.683	67063.0656	15	1	OK	52703.4375	NO	0.36	24	0	52703.4375	OK
2	64.21775475	11358.18494	6975.962	15	1	OK	3307.5	NO	0.36	24	0	3307.5	OK
3	2061.774004	408761.8691	29202.6916	15	1	OK	13800.9375	NO	0.36	24	0	13800.9375	OK
4	449.2247006	89062.10279	21636.9844	15	1	OK	6772.5	NO	0.36	24	0	6772.5	OK
5	81.64131668	16801.65684	5986.2072	15	1	OK	3780	NO	0.36	24	0	3780	OK
6	1896.456358	383464.7805	33695.7788	15	3	OK	13289.0625	NO	0.36	24	0	13289.0625	OK
7	3372.398958	681901.3899	30531.0504	15	1	OK	18663.75	NO	0.36	24	0	18663.75	OK
8	22.19932543	4200.414211	5113.509	15	1	OK	2362.5	NO	0.36	24	0	2362.5	OK
9	60.02837605	11358.18494	7394.1348	15	1	OK	3307.5	NO	0.36	24	0	3307.5	OK
10	19030.32397	3270225.683	77465.114	15	1	OK	52703.4375	NO	0.36	24	0	52703.4375	OK

Figura 4.39 Diseño de muros de nivel 1 de manera tradicional. Fuente: Autoría propia (2021)

NIVEL 2													
MUROS EN X													
MURO	V. TOTAL	MV	Pu	bc	As	RESULTADO	VmR	Refuerzo horizontal	Ash	Sep	VsR	VR	Conclusion
1	14646.2429	1883778.828	11818.0082	15	1	OK	14056.875	SI	0.36	24	9126.071719	23182.94672	OK
2	11638.94557	1496984.545	10535.2565	15	1	OK	12265.3125	NO	0.36	12	0	12265.3125	OK
3	211.092606	27196.64948	3757.7531	15	1	OK	2677.5	NO	0.36	24	0	2677.5	OK
4	3719.521805	479213.9936	11441.2251	15	1	OK	7245	NO	0.36	24	0	7245	OK
5	1463.492207	188659.7743	9162.9056	15	1	OK	5197.5	NO	0.36	24	0	5197.5	OK
6	211.1656406	27196.64948	3476.6598	15	1	OK	2677.5	NO	0.36	24	0	2677.5	OK
7	4204.367116	514222.4458	12377.7952	15	1	OK	7434	NO	0.36	24	0	7434	OK
8	4236.051742	508289.2905	13348.8292	15	1	OK	7402.5	NO	0.36	24	0	7402.5	OK
9	4285.498294	514222.4458	10277.8629	15	1	OK	7434	NO	0.36	24	0	7434	OK
10	1517.490343	175861.2205	5490.5923	15	1	OK	5071.5	NO	0.36	24	0	5071.5	OK
11	1691.341767	188659.7743	7509.4156	15	1	OK	5197.5	NO	0.36	24	0	5197.5	OK
12	1.365975333	152.3669568	944.2262	15	1	OK	472.5	NO	0.36	24	0	472.5	OK
13	109.9292456	12261.9964	5469.5552	15	1	OK	2047.5	NO	0.36	24	0	2047.5	OK
MUROS EN Y													
MURO	V. TOTAL	MV	Pu	bc	As	RESULTADO	VmR	Refuerzo horizontal	Asv	Sep	VsR	VR	Conclusion
1	19577.81457	2033376.455	43657.9518	15	1	OK	52703.4375	NO	0.36	24	0	52703.4375	OK
2	63.36122817	7062.34617	4526.186	15	1	OK	3307.5	NO	0.36	24	0	3307.5	OK
3	2108.183375	254161.8961	18888.8548	15	1	OK	13800.9375	NO	0.36	24	0	13800.9375	OK
4	459.3364954	55377.45721	13919.7232	15	1	OK	6772.5	NO	0.36	24	0	6772.5	OK
5	84.5109238	10447.01398	3916.1316	15	1	OK	3780	NO	0.36	24	0	3780	OK
6	1951.678877	238432.5522	21720.6764	15	1	OK	13289.0625	NO	0.36	24	0	13289.0625	OK
7	3470.599143	423995.8845	19831.3212	15	1	OK	18663.75	NO	0.36	24	0	18663.75	OK
8	22.43161522	2611.753495	3315.6645	15	1	OK	2362.5	NO	0.36	24	0	2362.5	OK
9	60.65650229	7062.34617	4790.7444	15	1	OK	3307.5	NO	0.36	24	0	3307.5	OK
10	18711.08191	2033376.455	50238.842	15	1	OK	52703.4375	NO	0.36	24	0	52703.4375	OK

Figura 4.40 Diseño de muros de nivel 2 de manera tradicional. Fuente: Autoría propia (2021)

NIVEL 3													
MUROS EN X													
MURO	V. TOTAL	MV	Pu	bc	As	RESULTADO	VmR	Refuerzo horizontal	Ash	Sep	VsR	VR	Conclusion
1	9935.29814	2960718.926	5618.312	15	2	OK	14056.875	NO	0.18	36	0	14056.875	OK
2	7895.294043	2352797.689	5020.94	15	2	OK	12265.3125	NO	0.71	12	0	12265.3125	OK
3	142.7480294	42744.73926	1720.196	15	1	OK	2677.5	NO	0.71	12	0	2677.5	OK
4	2515.267673	753176.4978	5188.566	15	1	OK	7245	NO	0.71	12	0	7245	OK
5	988.6282479	296514.939	4122.746	15	1	OK	5197.5	NO	0.71	12	0	5197.5	OK
6	142.8884023	42744.73926	1602.318	15	1	OK	2677.5	NO	0.71	12	0	2677.5	OK
7	3050.627664	808198.9799	5591.512	15	1	OK	7434	NO	0.71	12	0	7434	OK
8	3148.001214	798873.891	5997.022	15	1	OK	7402.5	NO	0.71	12	0	7402.5	OK
9	3184.747178	808198.9799	4710.894	15	1	OK	7434	NO	0.71	12	0	7434	OK
10	1174.919305	276399.5625	2575.948	15	1	OK	5071.5	NO	0.71	12	0	5071.5	OK
11	1365.256454	296514.939	3429.346	15	1	OK	5197.5	NO	0.71	12	0	5197.5	OK
12	1.102619633	239.4738309	421.442	15	1	OK	472.5	NO	0.71	12	0	472.5	OK
13	88.73523665	19272.07391	2404.082	15	1	OK	2047.5	NO	0.71	12	0	2047.5	OK
MUROS EN Y													
MURO	V. TOTAL	MV	Pu	bc	As	RESULTADO	VmR	Refuerzo horizontal	Ash	Sep	VsR	VR	Conclusion
1	17053.48687	3196107.878	20252.838	15	1	OK	52703.4375	NO	0.36	24	0	52703.4375	OK
2	51.3060969	11100.75814	2076.41	15	1	OK	3307.5	NO	0.36	24	0	3307.5	OK
3	1552.326788	399497.5138	8575.018	15	1	OK	13800.9375	NO	0.36	24	0	13800.9375	OK
4	338.2250118	87043.56088	6202.462	15	1	OK	6772.5	NO	0.36	24	0	6772.5	OK
5	60.14336486	16420.85685	1846.056	15	1	OK	3780	NO	0.36	24	0	3780	OK
6	1411.762523	374773.7693	9745.574	15	1	OK	13289.0625	NO	0.36	24	0	13289.0625	OK
7	2510.485644	666446.4827	9131.592	15	1	OK	18663.75	NO	0.36	24	0	18663.75	OK
8	17.37857484	4105.214212	1517.82	15	1	OK	2362.5	NO	0.36	24	0	2362.5	OK
9	46.99276241	11100.75814	2187.354	15	1	OK	3307.5	NO	0.36	24	0	3307.5	OK
10	15729.27452	3196107.878	23012.57	15	1	OK	52703.4375	NO	0.36	24	0	52703.4375	OK

Figura 4.41 Diseño de muros de nivel 3 de manera tradicional. Fuente: Autoría propia (2021)

## Resultados

Nivel	Muro	Sentido	Material	t	bc	As	Sh
1	1	Horizontal	Tabique	15	15	3	0
1	2	Horizontal	Tabique	15	15	3	0
1	3	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
1	4	Horizontal	Tabique	15	15	3	0
1	5	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
1	6	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
1	7	Horizontal	Tabique	15	15	3	0
1	8	Horizontal	Tabique	15	15	3	0
1	9	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
1	10	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
1	11	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
1	12	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
1	13	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
1	1	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	2	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	3	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	4	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	5	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	6	Vertical	Tabique	15	15	3	0
1	7	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	8	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	9	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	10	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	1	Horizontal	Tabique	15	15	1	24
2	2	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	3	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	4	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	5	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	6	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	7	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	8	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	9	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	10	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	11	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	12	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	13	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	1	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	2	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	3	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	4	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	5	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	6	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	7	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	8	Vertical	Tabique	15	15	1	0

Figura 4.42 Reporte de resultado de diseño estructural (parte 1). Fuente: Autoría propia (2021)

2	9	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	10	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	1	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
3	2	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
3	3	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	4	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	5	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	6	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	7	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	8	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	9	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	10	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	11	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	12	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	13	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	1	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	2	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	3	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	4	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	5	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	6	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	7	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	8	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	9	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	10	Vertical	Tabique	15	15	1	0

Figura 4.43 Reporte de resultado de diseño estructural (parte 2). Fuente: Autoría propia (2021)

Para el diseño a flexocompresión de un muro de mampostería se elabora el diagrama de interacción relacionando carga axial y momento flexionante asegurando de esta forma que el elemento es capaz de resistir la combinación de acciones a las que es sometido.

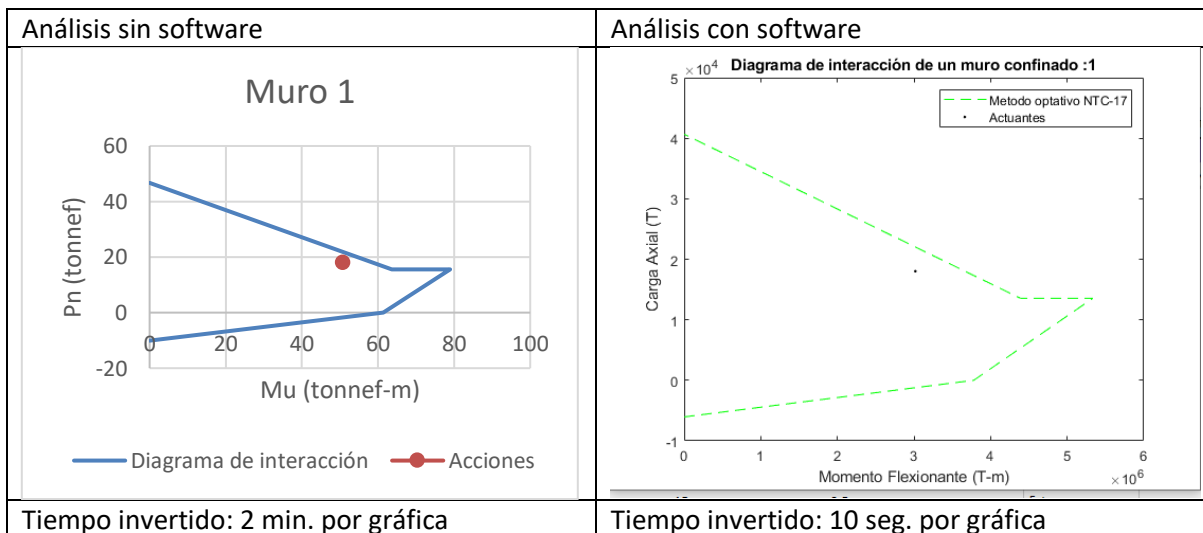


Figura 4.44 Comparación de diagrama de interacción para diseño a flexocompresión de muros. Fuente: Autoría propia (2021)

Finalmente debe revisarse el cortante por entrepiso y desplazamientos relativos de cada nivel, sin embargo, este último está fuera del alcance del software.

Análisis sin software					Análisis con software																																																																																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">NIVEL 3</th> </tr> <tr> <th colspan="5">DIRECCION X</th> </tr> <tr> <th>sigma</th> <th>VR</th> <th>VRmc</th> <th>VRT</th> <th>CONCLUSION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">6.66</td> <td>76284.40055</td> <td>0</td> <td>76284.4006</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <th colspan="4">DIRECCION Y</th> </tr> <tr> <th>VR</th> <th>VRmc</th> <th>VRT</th> <th>CONCLUSION</th> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>224489.0625</td> <td>0</td> <td>224489.063</td> <td>OK</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">NIVEL 2</th> </tr> <tr> <th colspan="5">DIRECCION X</th> </tr> <tr> <th>sigma</th> <th>VR</th> <th>VRmc</th> <th>VRT</th> <th>CONCLUSION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">6.66</td> <td>131810.4372</td> <td>0</td> <td>131810.437</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <th colspan="4">DIRECCION Y</th> </tr> <tr> <th>VR</th> <th>VRmc</th> <th>VRT</th> <th>CONCLUSION</th> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>224489.0625</td> <td>0</td> <td>224489.063</td> <td>OK</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">NIVEL 1</th> </tr> <tr> <th colspan="5">DIRECCION X</th> </tr> <tr> <th>sigma</th> <th>VR</th> <th>VRmc</th> <th>VRT</th> <th>CONCLUSION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">6.66</td> <td>186577.5622</td> <td>0</td> <td>186577.562</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <th colspan="4">DIRECCION Y</th> </tr> <tr> <th>VR</th> <th>VRmc</th> <th>VRT</th> <th>CONCLUSION</th> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>224489.0625</td> <td>0</td> <td>224489.063</td> <td>OK</td> </tr> </tbody> </table>					NIVEL 3					DIRECCION X					sigma	VR	VRmc	VRT	CONCLUSION	6.66	76284.40055	0	76284.4006	OK	DIRECCION Y				VR	VRmc	VRT	CONCLUSION			224489.0625	0	224489.063	OK	NIVEL 2					DIRECCION X					sigma	VR	VRmc	VRT	CONCLUSION	6.66	131810.4372	0	131810.437	OK	DIRECCION Y				VR	VRmc	VRT	CONCLUSION			224489.0625	0	224489.063	OK	NIVEL 1					DIRECCION X					sigma	VR	VRmc	VRT	CONCLUSION	6.66	186577.5622	0	186577.562	OK	DIRECCION Y				VR	VRmc	VRT	CONCLUSION			224489.0625	0	224489.063	OK	<table border="0"> <tr> <td>Nivel: 1</td> <td>Esfuerzo normal promedio:</td> <td>6.66</td> <td>Cortante resistente mampostería (X):</td> <td>76273.617</td> </tr> <tr> <td>Nivel: 2</td> <td>Esfuerzo normal promedio:</td> <td>6.66</td> <td>Cortante resistente mampostería (X):</td> <td>85399.68626</td> </tr> <tr> <td>Nivel: 3</td> <td>Esfuerzo normal promedio:</td> <td>6.66</td> <td>Cortante resistente mampostería (X):</td> <td>76273.617</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Cortante resistente de concreto (X):</td> <td>0</td> <td>Cortante de entrepiso Total (X):</td> <td>76273.617</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Cortante resistente de concreto (X):</td> <td>0</td> <td>Cortante de entrepiso Total (X):</td> <td>85399.68626</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Cortante resistente de concreto (X):</td> <td>0</td> <td>Cortante de entrepiso Total (X):</td> <td>76273.617</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Revisión a cortante (X): SI PASA</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Revisión a cortante (X): SI PASA</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Revisión a cortante (X): SI PASA</td> </tr> <tr> <td>Nivel: 1</td> <td>Cortante resistente mampostería (Y):</td> <td>130637.85</td> <td>Cortante resistente de concreto (Y):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Nivel: 2</td> <td>Cortante resistente mampostería (Y):</td> <td>130637.85</td> <td>Cortante resistente de concreto (Y):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Nivel: 3</td> <td>Cortante resistente mampostería (Y):</td> <td>130637.85</td> <td>Cortante resistente de concreto (Y):</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Cortante de entrepiso Total (Y):</td> <td>130637.85</td> <td>Revisión a cortante (Y):</td> <td>SI PASA</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Cortante de entrepiso Total (Y):</td> <td>130637.85</td> <td>Revisión a cortante (Y):</td> <td>SI PASA</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Cortante de entrepiso Total (Y):</td> <td>130637.85</td> <td>Revisión a cortante (Y):</td> <td>SI PASA</td> </tr> </table>					Nivel: 1	Esfuerzo normal promedio:	6.66	Cortante resistente mampostería (X):	76273.617	Nivel: 2	Esfuerzo normal promedio:	6.66	Cortante resistente mampostería (X):	85399.68626	Nivel: 3	Esfuerzo normal promedio:	6.66	Cortante resistente mampostería (X):	76273.617	Cortante resistente de concreto (X):		0	Cortante de entrepiso Total (X):	76273.617	Cortante resistente de concreto (X):		0	Cortante de entrepiso Total (X):	85399.68626	Cortante resistente de concreto (X):		0	Cortante de entrepiso Total (X):	76273.617	Revisión a cortante (X): SI PASA					Revisión a cortante (X): SI PASA					Revisión a cortante (X): SI PASA					Nivel: 1	Cortante resistente mampostería (Y):	130637.85	Cortante resistente de concreto (Y):	0	Nivel: 2	Cortante resistente mampostería (Y):	130637.85	Cortante resistente de concreto (Y):	0	Nivel: 3	Cortante resistente mampostería (Y):	130637.85	Cortante resistente de concreto (Y):	0	Cortante de entrepiso Total (Y):		130637.85	Revisión a cortante (Y):	SI PASA	Cortante de entrepiso Total (Y):		130637.85	Revisión a cortante (Y):	SI PASA	Cortante de entrepiso Total (Y):		130637.85	Revisión a cortante (Y):	SI PASA
NIVEL 3																																																																																																																																																																																										
DIRECCION X																																																																																																																																																																																										
sigma	VR	VRmc	VRT	CONCLUSION																																																																																																																																																																																						
6.66	76284.40055	0	76284.4006	OK																																																																																																																																																																																						
	DIRECCION Y																																																																																																																																																																																									
VR	VRmc	VRT	CONCLUSION																																																																																																																																																																																							
	224489.0625	0	224489.063	OK																																																																																																																																																																																						
NIVEL 2																																																																																																																																																																																										
DIRECCION X																																																																																																																																																																																										
sigma	VR	VRmc	VRT	CONCLUSION																																																																																																																																																																																						
6.66	131810.4372	0	131810.437	OK																																																																																																																																																																																						
	DIRECCION Y																																																																																																																																																																																									
VR	VRmc	VRT	CONCLUSION																																																																																																																																																																																							
	224489.0625	0	224489.063	OK																																																																																																																																																																																						
NIVEL 1																																																																																																																																																																																										
DIRECCION X																																																																																																																																																																																										
sigma	VR	VRmc	VRT	CONCLUSION																																																																																																																																																																																						
6.66	186577.5622	0	186577.562	OK																																																																																																																																																																																						
	DIRECCION Y																																																																																																																																																																																									
VR	VRmc	VRT	CONCLUSION																																																																																																																																																																																							
	224489.0625	0	224489.063	OK																																																																																																																																																																																						
Nivel: 1	Esfuerzo normal promedio:	6.66	Cortante resistente mampostería (X):	76273.617																																																																																																																																																																																						
Nivel: 2	Esfuerzo normal promedio:	6.66	Cortante resistente mampostería (X):	85399.68626																																																																																																																																																																																						
Nivel: 3	Esfuerzo normal promedio:	6.66	Cortante resistente mampostería (X):	76273.617																																																																																																																																																																																						
Cortante resistente de concreto (X):		0	Cortante de entrepiso Total (X):	76273.617																																																																																																																																																																																						
Cortante resistente de concreto (X):		0	Cortante de entrepiso Total (X):	85399.68626																																																																																																																																																																																						
Cortante resistente de concreto (X):		0	Cortante de entrepiso Total (X):	76273.617																																																																																																																																																																																						
Revisión a cortante (X): SI PASA																																																																																																																																																																																										
Revisión a cortante (X): SI PASA																																																																																																																																																																																										
Revisión a cortante (X): SI PASA																																																																																																																																																																																										
Nivel: 1	Cortante resistente mampostería (Y):	130637.85	Cortante resistente de concreto (Y):	0																																																																																																																																																																																						
Nivel: 2	Cortante resistente mampostería (Y):	130637.85	Cortante resistente de concreto (Y):	0																																																																																																																																																																																						
Nivel: 3	Cortante resistente mampostería (Y):	130637.85	Cortante resistente de concreto (Y):	0																																																																																																																																																																																						
Cortante de entrepiso Total (Y):		130637.85	Revisión a cortante (Y):	SI PASA																																																																																																																																																																																						
Cortante de entrepiso Total (Y):		130637.85	Revisión a cortante (Y):	SI PASA																																																																																																																																																																																						
Cortante de entrepiso Total (Y):		130637.85	Revisión a cortante (Y):	SI PASA																																																																																																																																																																																						
Tiempo invertido: 10 min.					Tiempo invertido: 30 seg.																																																																																																																																																																																					

Figura 4.45 Comparación de cortantes de entrepiso. Fuente: Autoría propia (2021)

La variación entre los resultados obtenidos de manera tradicional con apoyo de hojas de cálculo es mínima, esta se debe a la precisión numérica utilizada, por lo cual puede ser despreciada y considerarse iguales.

Finalmente, se concluye que el software propuesto es capaz de analizar y diseñar una estructura a base de muros de carga de mampostería de manera más satisfactoria frente a una forma tradicional con uso de hojas de cálculo, además de ser capaz de mostrar mayor transparencia en su proceso facilitando el aprendizaje en el ámbito académico.

## CONCLUSIONES

El avance tecnológico le ha permitido al ser humano conocer mejor el comportamiento de las estructuras y predecir con mayor precisión su reacción ante distintos eventos, lo cual, ha resultado en estructuras más seguras.

Es innegable el impacto que tiene la tecnología y el desarrollo de nuevos softwares como herramientas de apoyo en la labor del ingeniero estructurista, debido a que permite reducir tiempos de trabajo y esfuerzo, permitiéndole al usuario prestarles mayor atención a otros aspectos cada vez más complejos.

Actualmente, se utilizan softwares capaces de analizar a detalle estructuras de distintos materiales, con gran precisión y haciendo uso de distintos métodos y normas. Sin embargo, estos pueden tener algunas desventajas, tales como; su alto costo en el mercado, su complejidad debido a su gran capacidad de solución, entre otros.

Hoy en día existen diversos métodos de análisis sísmico, siendo los más utilizados el Método Estático y el Método Dinámico Modal Espectral. También, se han generado normas que regulan los procedimientos de cálculo y construcción de las estructuras, las cuales se mantienen en constante modificación y actualización apoyándose de una continua investigación, con el fin de aprovechar al máximo la capacidad de los elementos y materiales sin afectar la integridad estructural.

En un cálculo estructural de mampostería se cuenta con diversas variables y procedimientos que requieren un tiempo considerable para realizarse, la propuesta del software será capaz de resolver estos problemas de una manera rápida y sencilla.

El software propuesto permite introducir datos generales de un proyecto para generar un informe ordenado, y a su vez, clasificar la estructura de acuerdo al tipo

I o II, también, es posible generar un análisis de carga de manera clara y explícita evitando posibles confusiones.

Permite al usuario introducir un espectro de diseño generado fuera del software con el fin de determinar las respuestas de la estructura en función de la acción sísmica.

El usuario debe introducir las características de los elementos estructurales, para ello cuenta con ventanas flotantes que muestran una ventaja en el ingreso de datos evitando posibles confusiones en los números.

Al determinarse las acciones sísmicas automáticamente se realiza la distribución en los elementos estructurales ahorrando por completo el tiempo que se invertiría en realizar este proceso, así mismo, también se realiza el diseño de los elementos al introducir algunos datos adicionales.

Finalmente, es posible obtener diagramas de interacción de cada muro registrado en el software y exponiendo un reporte completo que muestre los resultados obtenidos en el proceso. Cabe resaltar que los elementos de concreto introducidos serán solo considerados para la distribución de cargas mas no para su diseño.

## RECOMENDACIONES

Se propone incluir un lenguaje de programación en el posgrado de ingeniería ya que es una herramienta didáctica, la cual, ayudara al estudiantado en realizar un mayor número de ejemplos en poco tiempo para la materia de “Diseño de elementos de mampostería” y una gran ventaja en el campo laboral.

Así mismo a nivel de licenciatura en las optativas de especialidad en el tema de mampostería a los estudiantes fortalecerá su aprendizaje.

Para proyectos de edificaciones con mampostería en el campo laboral aportará un incremento en el rendimiento del ingeniero y facilitará su labor, al mismo tiempo, que le permitirá generar memorias de cálculo más completas.

Para la ratificación del software presentado se recomienda que a nivel académico y profesional se realice una serie de ejemplos con nuevos usuarios y así poder medir tiempos y experiencias en la aplicación de este.

Es recomendable para la satisfacción del usuario realizar una comparación con softwares comerciales similares con el fin de evaluar velocidad y practicidad.

Se deja abierto para futuras mejoras del software presente: métodos y consideraciones que se dejaron fuera del alcance, como la inercia de los castillos y la inercia de muros tipo L y T, el diseño de muros de concreto y el dibujo de un bosquejo de la planta de diseño donde se aprecie la ubicación de cada muro de manera que permita al usuario visualizar la estructura.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- A. Serway, R., & W. Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería* (Vol. 1). California: CENGAGE Learning.
- Bazán Zurita, E. (2015). *Diseño sísmico de edificios*. México: Limusa.
- Chopra, A. (2007). *Dynamics of Structures*. California: Pearson.
- Dander Sánchez, O. A. (2012). *Historia de la arquitectura I*. Estado de México: Red Tercer Milenio S.C.
- Flores, L. (1995). *Estudio analítico de estructura de mampostería confinada*. México: UNAM.
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (2017). Normas Tecnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería . En G. O. México, *Normas Tecnicas Complementarias 2017* (págs. 614-688). Ciudad de México, Delegación Hidalgo, México: Corporación Mexicana de impresión S.A. de C.V.
- Gavilán Pérez, J. J. (2011). Guia para el Análisis de Estructuras de Mampostería. *Séptimo Simposio Nacional sobre Estructural en la Vivienda*, (págs. 6-13). Cuernavaca, Morelos.
- L. Singer, F. (1982). *Resistencia de materiales*. México: Harla.
- Meli Piralla, R. (2015). *Diseño estructural*. México: Limusa.
- Normas Tecnicas Complementarias para diseño por sismo. (2017). Normas Tecnicas Complementarias para diseño por sismo. En *Normas Tecnicas Complementarias 2017*. México, Delegación Hidalgo, México.
- Ortiz Prado, A., Ruiz Cervantes, O., & Ortiz Valero, J. A. (2013). *Modelado de procesos de manufactura*. México: Universidad Autonoma Nacional de México.
- Reddy, J. N. (1980). *introduction to the finite element method*. Texas: McGraw-Hill.

- S. Gokhale, N. (2008). *Practical finite element analysis*. New York: Finite to infinity.
- S. Pressman, R. (2010). *Ingeniería del software. Un enfoque práctico*. New York: McGraw Hill.
- Sandoval, H. (2005). *Envolvente de resistencia lateral de piso en estructuras de mampostería*. México: Dirección de Estudio de Posgrado de la Facultad de Ingeniería.
- Sarcos Portillo, A., A. Delgado, J., & Legl García, H. (2005). CÁLCULO APROXIMADO DEL DIAGRAMA MOMENTO-ROTACIÓN PARA TUBOS CUADRADOS DE PARED DELGADA SOMETIDOS A FLEXIÓN MONOTÓNICA. *SciELO*, 7.
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. (2019). *Edificaciones de mampostería*. México: Limusa.
- Taveras Montero, M. A. (2008). *Revisión de las recomendaciones para modelar y analizar estructuras de mampostería confinada ante carga lateral (Tesis de maestría)*. Instituto de Ingeniería UNAM: México.
- Tena Colunga, A., Cano Licona, J., López Blancas, A., & Pérez Osornio, M. Á. (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*, 1-34.
- Timoshenko, S. P., & M. Gere, J. (1972). *Mecánica de materiales*. New York: Litton Educational.
- Tomasevic, M. (1999). Earthquake-resistant design of masonry building. *Imperial college Press*, 1.
- Williams Linera, F., Riquer Trujillo, G., & Leyva Soberanis, R. (10 de Septiembre de 2010). Métodos de análisis de estructuras de mampostería: teórico y experimental. *AcademiaJournals*, 86-87.

Wilson, E. L. (1998). *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structure*.  
California: Computers and Structures, inc.

## REFERENCIAS

Martinez Alonso, F. (19 de Febrero de 2013). *Estructuras sismorresistentes*.

Obtenido de Wordpress: [www.xfma.wordpress.com](http://www.xfma.wordpress.com)

## Anexo: Reporte del edificio de departamentos de 3 niveles

## Definición General

Nombre del cliente:	CESAR ORTIZ	Fecha:	27/5/2021 12:00:00 a. m.
Nombre del proyecto:	CONDOMINIOS	Reglamento:	NTC17
Superficies:	103.5	Niveles:	3
Uso:	Habitacional	Tipo de análisis:	Estático y Dinámico
Grupo:	B	Ubicación:	Veracruz, Ver.

## Definición de estructura

Muros horizontales								
Nivel	Muro	Material	Longitud(cm)	Area tributaria(m2)	Espesor(cm)	Altura(cm)	Coordenadas X (cm)	Coordenadas Y (cm)
1	1	Tabique	390	2.18	15	300	0	1130
1	2	Tabique	355	1.85	15	300	0	1130
1	3	Tabique	85	1.19	15	300	0	950
1	4	Tabique	230	3.99	15	300	0	950
1	5	Tabique	165	3.44	15	300	0	890
1	6	Tabique	85	1.02	15	300	0	775
1	7	Tabique	236	4.48	15	300	0	575
1	8	Tabique	235	5.08	15	300	0	460
1	9	Tabique	236	3.21	15	300	0	460
1	10	Tabique	161	1.27	15	300	0	245
1	11	Tabique	165	2.44	15	300	0	0
1	12	Tabique	15	0.38	15	300	0	0
1	13	Tabique	65	2.48	15	300	0	0
2	1	Tabique	390	2.18	15	300	0	1130
2	2	Tabique	355	1.85	15	300	0	1130
2	3	Tabique	85	1.19	15	300	0	950
2	4	Tabique	230	3.99	15	300	0	950
2	5	Tabique	165	3.44	15	300	0	890
2	6	Tabique	85	1.02	15	300	0	775
2	7	Tabique	236	4.48	15	300	0	575
2	8	Tabique	235	5.08	15	300	0	460
2	9	Tabique	236	3.21	15	300	0	460
2	10	Tabique	161	1.27	15	300	0	245
2	11	Tabique	165	2.44	15	300	0	0
2	12	Tabique	15	0.38	15	300	0	0
2	13	Tabique	65	2.48	15	300	0	0
3	1	Tabique	390	2.18	15	300	0	1130
3	2	Tabique	355	1.85	15	300	0	1130
3	3	Tabique	85	1.19	15	300	0	950
3	4	Tabique	230	3.99	15	300	0	950
3	5	Tabique	165	3.44	15	300	0	890
3	6	Tabique	85	1.02	15	300	0	775
3	7	Tabique	236	4.48	15	300	0	575
3	8	Tabique	235	5.08	15	300	0	460
3	9	Tabique	236	3.21	15	300	0	460
3	10	Tabique	161	1.27	15	300	0	245

3	11	Tabique	165	2.44	15	300	0	0
3	12	Tabique	15	0.38	15	300	0	0
3	13	Tabique	65	2.48	15	300	0	0

Muros verticales

Nivel	Muro	Material	Longitud(cm)	Area tributaria(m2)	Espesor(cm)	Altura(cm)	Coordenadas X (cm)	Coordenadas Y (cm)
1	1	Tabique	1145	11.82	15	300	0	0
1	2	Tabique	105	1.4	15	300	160	0
1	3	Tabique	385	6.52	15	300	325	0
1	4	Tabique	215	5.68	15	300	325	0
1	5	Tabique	120	0.84	15	300	375	0
1	6	Tabique	375	8.36	15	300	546	0
1	7	Tabique	480	5.88	15	300	546	0
1	8	Tabique	75	1.05	15	300	696	0
1	9	Tabique	105	1.56	15	300	696	0
1	10	Tabique	1145	15.8	15	300	885	0
2	1	Tabique	1145	11.82	15	300	0	0
2	2	Tabique	105	1.4	15	300	160	0
2	3	Tabique	385	6.52	15	300	325	0
2	4	Tabique	215	5.68	15	300	325	0
2	5	Tabique	120	0.84	15	300	375	0
2	6	Tabique	375	8.36	15	300	546	0
2	7	Tabique	480	5.88	15	300	546	0
2	8	Tabique	75	1.05	15	300	696	0
2	9	Tabique	105	1.56	15	300	696	0
2	10	Tabique	1145	15.8	15	300	885	0
3	1	Tabique	1145	11.82	15	300	0	0
3	2	Tabique	105	1.4	15	300	160	0
3	3	Tabique	385	6.52	15	300	325	0
3	4	Tabique	215	5.68	15	300	325	0
3	5	Tabique	120	0.84	15	300	375	0
3	6	Tabique	375	8.36	15	300	546	0
3	7	Tabique	480	5.88	15	300	546	0
3	8	Tabique	75	1.05	15	300	696	0
3	9	Tabique	105	1.56	15	300	696	0
3	10	Tabique	1145	15.8	15	300	885	0

Análisis de carga

Nivel: 1			
Concepto	Peso Volumetrico	Espesor	Peso
Relleno adicional	0	0	0
Piso	2800	0.016	44.800000000000004
Mortero	2100	0.025	52.5
Firme	2400	0.03	72
Losa	2400	0.1	240
Aplanado	2200	0.025	55
Instalaciones			15
Carga adicional por colada			20

Carga adicional por mortero			20
Carga muerta			519.3
Carga viva maxima			190
Carga viva instantanea			100

Nivel: 2

Concepto	Peso Volumetrico	Espesor	Peso
Relleno adicional	0	0	0
Piso	2800	0.016	44.800000000000004
Mortero	2100	0.025	52.5
Firme	2400	0.03	72
Losa	2400	0.1	240
Aplanado	2200	0.025	55
Instalaciones			15
Carga adicional por colada			20
Carga adicional por mortero			20
Carga muerta			519.3
Carga viva maxima			190
Carga viva instantanea			100

Nivel: 3

Concepto	Peso Volumetrico	Espesor	Peso
Impermeabilizante			5
Mortero	2100	0.03	63
Relleno	1200	0	0
Losa	2400	0.1	240
Aplanado	2200	0.025	55
Instalaciones			15
Carga adicional por colada			20
Carga adicional por mortero			20
Carga muerta			418
Carga viva maxima			100
Carga viva instantanea			70

## Análisis sísmico

Valores horizontales (X)			
k		m	
221982.50105		83546.706	
221982.50105		83546.706	
221982.50105		71477.61	
K			
443965.0021	-221982.50105	0	
-221982.50105	443965.0021	-221982.50105	
0	-221982.50105	221982.50105	
M			
83546.706	0		0
0	83546.706		0
0	0		71477.61
$\omega_n$	T		F <sub>n</sub>
23.65946549952867	0.26556750828226316		3.765520889464882
65.47049588603622	0.09596972216213351		10.419953058846794
92.87882639499654	0.06764927533944896		14.78212434622874
Φ			
l	l	l	
1.7852409658217756	0.3555039118711383		-1.3095962984385148
2.187085306048266	-0.8736169686443186		0.71504246488386
Ω			
23.65946549952867	0		0
0	65.47049588603622		0
0	0		92.87882639499654
Mg			
691719.048750066	0		0
0	148657.7762331961		0
0	0		263378.3363547327
ΦN			
0.0012023616956374104	0.0025936190300156086		0.0019485429138932666
0.0021465053547868383	0.000922041711073976		-0.0025518045873832193
0.002629667597083858	-0.002265829594820454		0.0013932909280822202
Γ		Me	ΓN
0.5624036801589952		218789.2821336122	467.7491658288791
0.34175026103654504		17362.223474019076	131.76579022651924
0.09584605880445936		2419.5163923687364	49.18857989786591
P <sub>m</sub>	S <sub>a</sub>	S <sub>a</sub> '	Coef. Modal
0.9170823861986566	115.26234083266934	115.26234083266934	1
0.07277591104094393	124.16726867989304	349.2711740536366	2.812908568956834
0.010141702760399527	158.84849762328963	72.63022488606306	0.4572295361477461

a <sub>i</sub>			
Nivel	Modo1	Modo2	Modo3
3	98.26704690431656	175.43035772391576	214.9184143531864
2	294.38148941726735	104.65377107029063	-257.1766644097126
1	58.331575303875475	-76.39081510004279	41.709553385841616
F <sub>i</sub>			
Nivel	Modo1	Modo2	Modo3
3	7159.932369498926	12782.204578542853	15659.382877630436
2	25070.95183301381	8912.821450969293	-21902.408941385245
1	4967.799156401371	-6505.811386609211	3552.1873538411974
V <sub>i</sub>			
Nivel	Modo1	Modo2	Modo3
3	7159.932369498926	19942.136948041778	35601.519825672214
2	25070.95183301381	33983.7732839831	12081.364342597855
1	4967.799156401371	-1538.0122302078398	2014.1751236333575
δ			
Nivel	Modo1	Modo2	Modo3
3	1685.7502186162985	3009.4703484168294	3686.879532803357
2	38670.27144135503	13747.432770520472	-33783.00531324954
1	15421.00240404026	-20195.28766654256	11026.67156996488
δ <sub>n</sub>	δ <sub>u</sub>		Sad
1685.7502186162985	41665.80087185483		315.78386041128755
38670.27144135503	24615.004844451814		218.09121679247605
15421.00240404026	35727.74852402992		337.7416888520578
F <sub>u</sub>	F <sub>us</sub>		V <sub>u</sub>
26542.348912774076	System.Double[,]		26542.348912774076
16886.347204256886	System.Double[,]		39432.868958419516
27157.868556657515	System.Double[,]		37649.49507901786
V <sub>us</sub>		Δ	
System.Double[,]		41665.80087185483	
System.Double[,]		24615.004844451814	
System.Double[,]		35727.74852402992	
T <sub>n</sub>			
0.12133417887343181			

## Repartición de fuerzas sísmicas

Nivel	Cmx	Cmy	Ctx	Cty	esx	esy	eax	eay	edx	edy	Mtx	Mty	Kt	Mvx	Mvy
1	448.73709	720.41903	448.8054	880.79124	0.06831	160.37221	44.25	56.5	44.31831	216.87221	6967711.33828	1203590.83763	239043967900.21005	9638456.6814	8147360.567

### Muros horizontales

Muro	I	A	K	Vd	Clasif.	edx	edy	Vtx	Vty	VT	Mv	Pu	Ps
1	74148750	5850	69500.87873	13845.42254	Rigido	44.35246	0	0.06049	26.12198	13871.60501	3017720.79236	18017.7044	13698.788
2	55923593.75	5325	55230.33795	11002.5568	Rigido	44.35246	0	0.04807	20.75838	11023.36325	2398095.42334	16049.573	12209.21
3	767656.25	1275	1003.40391	199.89029	Rigido	44.35246	0	0.00024	0.10473	199.99526	43567.69148	5795.3102	4370.054
4	15208750	3450	17680.31	3522.13335	Rigido	44.35246	0	0.00427	1.84545	3523.98307	767677.18736	17693.8842	13316.034
5	5615156.25	2475	6960.48809	1386.6141	Rigido	44.35246	0	0.00022	0.09667	1386.71099	302223.65556	14203.0652	10671.404
6	767656.25	1275	1003.40391	199.89029	Rigido	44.35246	0	0.00037	0.1601	200.05076	43567.69148	5351.0016	4040.832
7	16430320	3540	18971.92564	3779.43893	Flexible	44.35246	297.05832	187.57082	44.07507	4011.08482	823759.00163	19164.0784	14410.768
8	16222343.75	3525	18753.02547	3735.83135	Flexible	44.35246	297.05832	255.13313	59.95075	4050.91523	814254.37943	20700.6364	15548.428
9	16430320	3540	18971.92564	3779.43893	Flexible	44.35246	297.05832	258.11125	60.65054	4098.20072	823759.00163	15844.8318	11951.286
10	5216601.25	2415	6488.2932	1292.54712	Flexible	44.35246	297.05832	133.37482	31.34019	1457.26213	281721.00345	8405.2366	6371.782
11	5615156.25	2475	6960.48809	1386.6141	Flexible	44.35246	297.05832	198.21728	46.57676	1631.40814	302223.65556	11589.4852	8734.804
12	4218.75	225	5.62149	1.11987	Flexible	44.35246	297.05832	0.16009	0.03762	1.31758	244.0845	1467.0104	1100.408
13	343281.25	975	452.39893	90.12338	Flexible	44.35246	297.05832	12.88319	3.02727	106.03384	19643.11362	8535.0284	6382.268

### Muros verticales

Muro	I	A	K	Vd	Clasif.	edx	edy	Vtx	Vty	VT	Mv	Pu	Ps
1	1876404531.25	17175	538995.03299	15111.93154	Flexible	44.35246	297.05832	3562.46388	2.81602	18677.21144	3270225.93105	67063.0656	50714.112
2	1447031.25	1575	1872.04366	52.48693	Flexible	44.35246	297.05832	7.96212	0.00629	60.45534	11358.18578	6975.962	5262.74
3	71333281.25	5775	67371.68577	1888.91593	Flexible	44.35246	297.05832	122.83571	0.0971	2011.84874	408761.90009	29202.6916	21982.132
4	12422968.75	3225	14679.11871	411.56193	Flexible	44.35246	297.05832	26.76376	0.02116	438.34685	89062.1095	21636.9844	16224.388
5	2160000	1800	2769.23077	77.64158	Flexible	44.35246	297.05832	3.00992	0.00238	80.65388	16801.65812	5986.2072	4542.744
6	65917968.75	5625	63202.24719	1772.01639	Flexible	44.35246	297.05832	90.46535	0.07151	1862.55325	383464.80953	33695.7788	25302.476
7	138240000	7200	112390.2439	3151.11192	Flexible	44.35246	297.05832	160.87123	0.12716	3312.11031	681901.44158	30531.0504	23051.208
8	527343.75	1125	692.30769	19.41039	Flexible	44.35246	297.05832	2.52026	0.00199	21.93264	4200.41452	5113.509	3855.93
9	1447031.25	1575	1872.04366	52.48693	Flexible	44.35246	297.05832	6.81495	0.00539	59.30727	11358.18578	7394.1348	5572.596
10	1876404531.25	17175	538995.03299	15111.93154	Rigido	44.18169	297.05832	1180.11754	2280.42153	18572.47061	3270225.93105	77465.114	58421.78

Nivel	Cmx	Cmy	Ctx	Cty	esx	esy	eax	eay	edx	edy	Mtx	Mty	Kt	Mvx	Mvy
2	448.73709	720.41903	448.8054	880.79124	0.06831	160.37221	66.375	84.75	66.44331	245.12221	4916089.32092	1121984.80206	239043967900.21005	6016699.98111	5065904.16128

### Muros horizontales

Muro	I	A	K	Vd	Clasif.	edx	edy	Vtx	Vty	VT	Mv	Pu	Ps
1	74148750	5850	69500.87873	14606.79183	Rigido	66.47746	0	0.03761	24.36337	14631.19281	1883778.82835	11818.0082	8993.514
2	55923593.75	5325	55230.33795	11607.59495	Rigido	66.47746	0	0.02989	19.36086	11626.9857	1496984.54486	10535.2565	8021.505
3	767656.25	1275	1003.40391	210.8824	Rigido	66.47746	0	0.00015	0.09768	210.98023	27196.64955	3757.7531	2837.487
4	15208750	3450	17680.31	3715.81788	Rigido	66.47746	0	0.00266	1.72121	3717.54175	479213.99362	11441.2251	8622.927
5	5615156.25	2475	6960.48809	1462.86497	Rigido	66.47746	0	0.00014	0.09016	1462.95527	188659.77436	9162.9056	6894.912
6	767656.25	1275	1003.40391	210.8824	Rigido	66.47746	0	0.00023	0.14932	211.03195	27196.64955	3476.6598	2628.846
7	16430320	3540	18971.92564	3987.27287	Flexible	66.47746	325.30832	117.08901	41.26369	4145.62557	514222.44591	12377.7952	9321.504
8	16222343.75	3525	18753.02547	3941.26728	Flexible	66.47746	325.30832	159.26404	56.12672	4156.65804	508289.29063	13348.8292	10041.684
9	16430320	3540	18971.92564	3987.27287	Flexible	66.47746	325.30832	161.12309	56.78188	4205.17784	514222.44591	10277.8629	7762.833
10	5216601.25	2415	6488.2932	1363.62518	Flexible	66.47746	325.30832	83.25775	29.34112	1476.22405	175861.22054	5490.5923	4166.871
11	5615156.25	2475	6960.48809	1462.86497	Flexible	66.47746	325.30832	123.73494	43.60581	1630.20572	188659.77436	7509.4156	5667.612

12	4218.75	225	5.62149	1.18145	Flexible	66.47746	325.30832	0.09993	0.03522	1.3166	152.36705	944.2262	709.374
13	343281.25	975	452.39893	95.07933	Flexible	66.47746	325.30832	8.04219	2.83417	105.95569	12261.99642	5469.5552	4096.704

Muros verticales

Muro	I	A	K	Vd	Clasif.	edx	edy	Vtx	Vty	VT	Mv	Pu	Ps
1	1876404531.25	17175	538995.03299	15827.75054	Flexible	66.47746	325.30832	2598.92434	1.75096	18428.42584	2033376.45563	43657.9518	33055.686
2	1447031.25	1575	1872.04366	54.97312	Flexible	66.47746	325.30832	5.80861	0.00391	60.78564	7062.34616	4526.186	3419.22
3	71333281.25	5775	67371.68577	1978.38973	Flexible	66.47746	325.30832	89.61234	0.06037	2068.06244	254161.89619	18888.8548	14238.996
4	12422968.75	3225	14679.11871	431.05672	Flexible	66.47746	325.30832	19.52497	0.01315	450.59484	55377.45721	13919.7232	10454.064
5	2160000	1800	2769.23077	81.31929	Flexible	66.47746	325.30832	2.19583	0.00148	83.5166	10447.01399	3916.1316	2974.932
6	65917968.75	5625	63202.24719	1855.95291	Flexible	66.47746	325.30832	65.99719	0.04446	1921.99456	238432.55227	21720.6764	16335.228
7	138240000	7200	112390.2439	3300.37317	Flexible	66.47746	325.30832	117.36039	0.07907	3417.81263	423995.88456	19831.3212	14992.524
8	527343.75	1125	692.30769	20.32982	Flexible	66.47746	325.30832	1.83861	0.00124	22.16967	2611.75349	3315.6645	2503.665
9	1447031.25	1575	1872.04366	54.97312	Flexible	66.47746	325.30832	4.97171	0.00335	59.94818	7062.34616	4790.7444	3615.588
10	1876404531.25	17175	538995.03299	15827.75054	Rigido	66.30669	325.30832	1101.2358	1423.52792	18352.51426	2033376.45563	50238.842	37940.34

Nivel	Cmx	Cmy	Ctx	Cty	esx	esy	eax	eay	edx	edy	Mtx	Mty	Kt	Mvx	Mvy
3	448.73709	720.41903	448.8054	880.79124	0.06831	160.37221	88.5	113	88.56831	273.37221	8617052.39191	2350810.98663	239043967900.21005	9456395.43088	7962704.67383

Muros horizontales

Muro	I	A	K	Vd	Clasif.	edx	edy	Vtx	Vty	VT	Mv	Pu	Ps
1	74148750	5850	69500.87873	9869.06309	Rigido	88.60246	0	0.05912	51.05987	9920.18208	2960718.92584	5618.312	4288.24
2	55923593.75	5325	55230.33795	7842.65896	Rigido	88.60246	0	0.04698	40.5758	7883.28174	2352797.68885	5020.94	3833.8
3	767656.25	1275	1003.40391	142.48246	Rigido	88.60246	0	0.00024	0.20472	142.68742	42744.73936	1720.196	1304.92
4	15208750	3450	17680.31	2510.58833	Rigido	88.60246	0	0.00418	3.60726	2514.19977	753176.49774	5188.566	3929.82
5	5615156.25	2475	6960.48809	988.38313	Rigido	88.60246	0	0.00022	0.18896	988.57231	296514.93906	4122.746	3118.42
6	767656.25	1275	1003.40391	142.48246	Rigido	88.60246	0	0.00036	0.31293	142.79575	42744.73936	1602.318	1216.86
7	16430320	3540	18971.92564	2693.9966	Flexible	88.60246	353.55832	184.02779	86.46512	2964.48951	808198.98005	5591.512	4232.24
8	16222343.75	3525	18753.02547	2662.91297	Flexible	88.60246	353.55832	250.31391	117.60953	3030.83641	798873.8911	5997.022	4534.94
9	16430320	3540	18971.92564	2693.9966	Flexible	88.60246	353.55832	253.23577	118.98237	3066.21474	808198.98005	4710.894	3574.38
10	5216601.25	2415	6488.2932	921.33187	Flexible	88.60246	353.55832	130.85549	61.48221	1113.66957	276399.56249	2575.948	1961.96
11	5615156.25	2475	6960.48809	988.38313	Flexible	88.60246	353.55832	194.47314	91.37285	1274.22912	296514.93906	3429.346	2600.42
12	4218.75	225	5.62149	0.79825	Flexible	88.60246	353.55832	0.15706	0.0738	1.02911	239.47398	421.442	318.34
13	343281.25	975	452.39893	64.24025	Flexible	88.60246	353.55832	12.63984	5.9388	82.81889	19272.07394	2404.082	1811.14

Muros verticales

Muro	I	A	K	Vd	Clasif.	edx	edy	Vtx	Vty	VT	Mv	Pu	Ps
1	1876404531.25	17175	538995.03299	10653.69293	Flexible	88.60246	353.55832	4679.13156	2.7522	15335.57669	3196107.87954	20252.838	15397.26
2	1447031.25	1575	1872.04366	37.00253	Flexible	88.60246	353.55832	10.45788	0.00615	47.46656	11100.75813	2076.41	1575.7
3	71333281.25	5775	67371.68577	1331.65838	Flexible	88.60246	353.55832	161.33902	0.0949	1493.0923	399497.51402	8575.018	6495.86
4	12422968.75	3225	14679.11871	290.1452	Flexible	88.60246	353.55832	35.15297	0.02068	325.31885	87043.56089	6202.462	4683.74
5	2160000	1800	2769.23077	54.73619	Flexible	88.60246	353.55832	3.95339	0.00233	58.69191	16420.85686	1846.056	1407.12
6	65917968.75	5625	63202.24719	1249.2459	Flexible	88.60246	353.55832	118.82206	0.06989	1368.13785	374773.76949	9745.574	7367.98
7	138240000	7200	112390.2439	2221.48828	Flexible	88.60246	353.55832	211.29692	0.12428	2432.90948	666446.48304	9131.592	6933.84
8	527343.75	1125	692.30769	13.68405	Flexible	88.60246	353.55832	3.31025	0.00195	16.99625	4105.2142	1517.82	1151.4
9	1447031.25	1575	1872.04366	37.00253	Flexible	88.60246	353.55832	8.95112	0.00526	45.95891	11100.75813	2187.354	1658.58
10	1876404531.25	17175	538995.03299	10653.69293	Rigido	88.43169	353.55832	2308.52476	2237.34654	15199.56423	3196107.87954	23012.57	17458.9

## Diseño estructural

Nivel	o	Vux	VmRx	VcRx	Revisión	Vuy	VmRy	VcRy	Revisión
1	6.66	76273.617	76273.617	0	SI PASA	130637.85	130637.85	0	SI PASA

### Muros horizontales

Muro	b	ec	Tipo	Fe	k	Pu	PR	Mo	Revisión	VT	VmR	Ash	Sh	fyh	VsR	VRT	VRT(Concreto)	Conclusión
1	15	2.5	Extremo	0.6	l	18017.7044	40662	4725000	SI PASA	13871.60501	14056.875	0	0	6000	0	14056.875	0	SI PASA
2	15	2.5	Extremo	0.6	l	16049.573	37827	4284000	SI PASA	11023.36325	12265.3125	0	0	6000	0	12265.3125	0	SI PASA
3	15	2.5	Interior	0.6	0.8	5795.3102	9909	294000	SI PASA	199.99526	2677.5	0	0	6000	0	2677.5	0	SI PASA
4	15	2.5	Interior	0.6	0.8	17693.8842	27702	2709000	SI PASA	3523.98307	7245	0	0	6000	0	7245	0	SI PASA
5	15	2.5	Interior	0.7	0.8	14203.0652	22648.5	1260000	SI PASA	1386.71099	5197.5	0	0	6000	0	5197.5	0	SI PASA
6	15	2.5	Extremo	0.6	l	5351.0016	9909	294000	SI PASA	200.05076	2677.5	0	0	6000	0	2677.5	0	SI PASA
7	15	2.5	Interior	0.6	0.8	19164.0784	28188	2784600	SI PASA	4011.08482	7434	0	0	6000	0	7434	0	SI PASA
8	15	2.5	Interior	0.7	0.8	20700.6364	32791.5	2772000	SI PASA	4050.91523	7402.5	0	0	6000	0	7402.5	0	SI PASA
9	15	2.5	Interior	0.6	0.8	15844.8318	25164	1856400	SI PASA	4098.20072	7434	0	0	6000	0	7434	0	SI PASA
10	15	2.5	Extremo	0.6	l	8405.2366	16065	613200	SI PASA	1457.26213	5071.5	0	0	6000	0	5071.5	0	SI PASA
11	15	2.5	Extremo	0.6	l	11589.4852	19413	1260000	SI PASA	1631.40814	5197.5	0	0	6000	0	5197.5	0	SI PASA
12	15	2.5	Extremo	0.6	l	1467.0104	4239	0	SI PASA	1.31758	472.5	0	0	6000	0	472.5	0	SI PASA
13	15	2.5	Extremo	0.6	l	8535.0284	11313	420000	SI PASA	106.03384	2047.5	0	0	6000	0	2047.5	0	SI PASA

### Muros verticales

Muro	b	ec	Tipo	Fe	k	Pu	PR	Mo	Revisión	VT	VmR	Ash	Sh	fyh	VsR	VRT	VRT(Concreto)	Conclusión
1	15	2.5	Extremo	0.6	l	67063.0656	95769	4746000	SI PASA	18677.21144	52703.4375	0	0	6000	0	52703.4375	0	SI PASA
2	15	2.5	Interior	0.7	0.8	6975.962	13450.5	378000	SI PASA	60.45534	3307.5	0	0	6000	0	3307.5	0	SI PASA
3	15	2.5	Extremo	0.6	l	29202.6916	34209	1554000	SI PASA	2011.84874	13800.9375	0	0	6000	0	13800.9375	0	SI PASA
4	15	2.5	Interior	0.7	0.8	21636.9844	23845.5	840000	SI PASA	438.34685	6772.5	0	0	6000	0	6772.5	0	SI PASA
5	15	2.5	Extremo	0.6	l	5986.2072	12744	441000	SI PASA	80.65388	3780	0	0	6000	0	3780	0	SI PASA
6	15	2.5	Extremo	0.6	l	33695.7788	39447	4536000	SI PASA	1862.55325	13289.0625	0	0	6000	0	13289.0625	0	SI PASA
7	15	2.5	Extremo	0.6	l	30531.0504	41904	1953000	SI PASA	3312.11031	18663.75	0	0	6000	0	18663.75	0	SI PASA
8	15	2.5	Interior	0.7	0.8	5113.509	10615.5	252000	SI PASA	21.93264	2362.5	0	0	6000	0	2362.5	0	SI PASA
9	15	2.5	Interior	0.7	0.8	7394.1348	13450.5	378000	SI PASA	59.30727	3307.5	0	0	6000	0	3307.5	0	SI PASA
10	15	2.5	Extremo	0.6	l	77465.114	95769	4746000	SI PASA	18572.47061	52703.4375	0	0	6000	0	52703.4375	0	SI PASA

Nivel	o	Vux	VmRx	VcRx	Revisión	Vuy	VmRy	VcRy	Revisión
2	6.66	85399.68626	85399.68626	0	SI PASA	130637.85	130637.85	0	SI PASA

### Muros horizontales

Muro	b	ec	Tipo	Fe	k	Pu	PR	Mo	Revisión	VT	VmR	Ash	Sh	fyh	VsR	VRT	VRT(Concreto)	Conclusión
1	15	2.5	Extremo	0.6	l	11818.0082	34614	1575000	SI PASA	14631.19281	14056.875	0.36	24	6000	9126.07172	23182.94672	0	SI PASA
2	15	2.5	Extremo	0.6	l	10535.2565	31779	1428000	SI PASA	11626.9857	12265.3125	0	0	6000	0	12265.3125	0	SI PASA
3	15	2.5	Interior	0.6	0.8	3757.7531	9909	294000	SI PASA	210.98023	2677.5	0	0	6000	0	2677.5	0	SI PASA
4	15	2.5	Interior	0.6	0.8	11441.2251	21654	903000	SI PASA	3717.54175	7245	0	0	6000	0	7245	0	SI PASA
5	15	2.5	Interior	0.7	0.8	9162.9056	19120.5	630000	SI PASA	1462.95527	5197.5	0	0	6000	0	5197.5	0	SI PASA
6	15	2.5	Extremo	0.6	l	3476.6598	9909	294000	SI PASA	211.03195	2677.5	0	0	6000	0	2677.5	0	SI PASA
7	15	2.5	Interior	0.6	0.8	12377.7952	22140	928200	SI PASA	4145.62557	7434	0	0	6000	0	7434	0	SI PASA
8	15	2.5	Interior	0.7	0.8	13348.8292	25735.5	924000	SI PASA	4156.65804	7402.5	0	0	6000	0	7402.5	0	SI PASA
9	15	2.5	Interior	0.6	0.8	10277.8629	22140	928200	SI PASA	4205.17784	7434	0	0	6000	0	7434	0	SI PASA
10	15	2.5	Extremo	0.6	l	5490.5923	16065	613200	SI PASA	1476.22405	5071.5	0	0	6000	0	5071.5	0	SI PASA

11	15	2.5	Extremo	0.6	l	7509.4156	16389	630000	SI PASA	1630.20572	5197.5	0	0	6000	0	5197.5	0	SI PASA
12	15	2.5	Extremo	0.6	l	944.2262	4239	0	SI PASA	1.3166	472.5	0	0	6000	0	472.5	0	SI PASA
13	15	2.5	Extremo	0.6	l	5469.5552	8289	210000	SI PASA	105.95569	2047.5	0	0	6000	0	2047.5	0	SI PASA

Muros verticales

Muro	b	ec	Tipo	Fe	k	Pu	PR	Mo	Revisión	VT	VmR	Ash	Sh	fyh	VsR	VRT	VRT(Concreto)	Conclusión
1	15	2.5	Extremo	0.6	l	43657.9518	95769	4746000	SI PASA	18428.42584	52703.4375	0	0	6000	0	52703.4375	0	SI PASA
2	15	2.5	Interior	0.7	0.8	4526.186	13450.5	378000	SI PASA	60.78564	3307.5	0	0	6000	0	3307.5	0	SI PASA
3	15	2.5	Interior	0.6	0.8	18888.8548	34209	1554000	SI PASA	2068.06244	13800.9375	0	0	6000	0	13800.9375	0	SI PASA
4	15	2.5	Interior	0.7	0.8	13919.7232	23845.5	840000	SI PASA	450.59484	6772.5	0	0	6000	0	6772.5	0	SI PASA
5	15	2.5	Extremo	0.6	l	3916.1316	12744	441000	SI PASA	83.5166	3780	0	0	6000	0	3780	0	SI PASA
6	15	2.5	Extremo	0.6	l	21720.6764	33399	1512000	SI PASA	1921.99456	13289.0625	0	0	6000	0	13289.0625	0	SI PASA
7	15	2.5	Extremo	0.6	l	19831.3212	41904	1953000	SI PASA	3417.81263	18663.75	0	0	6000	0	18663.75	0	SI PASA
8	15	2.5	Interior	0.7	0.8	3315.6645	10615.5	252000	SI PASA	22.16967	2362.5	0	0	6000	0	2362.5	0	SI PASA
9	15	2.5	Interior	0.7	0.8	4790.7444	13450.5	378000	SI PASA	59.94818	3307.5	0	0	6000	0	3307.5	0	SI PASA
10	15	2.5	Extremo	0.6	l	50238.842	95769	4746000	SI PASA	18352.51426	52703.4375	0	0	6000	0	52703.4375	0	SI PASA

Nivel	o	Vux	VmRx	VcRx	Revisión	Vuy	VmRy	VcRy	Revisión
3	6.66	76273.617	76273.617	0	SI PASA	130637.85	130637.85	0	SI PASA

Muros horizontales

Muro	b	ec	Tipo	Fe	k	Pu	PR	Mo	Revisión	VT	VmR	Ash	Sh	fyh	VsR	VRT	VRT(Concreto)	Conclusión
1	15	2.5	Extremo	0.6	l	5618.312	37638	3150000	SI PASA	9920.18208	14056.875	0	0	6000	0	14056.875	0	SI PASA
2	15	2.5	Extremo	0.6	l	5020.94	34803	2856000	SI PASA	7883.28174	12265.3125	0	0	6000	0	12265.3125	0	SI PASA
3	15	2.5	Interior	0.6	0.8	1720.196	9909	294000	SI PASA	142.68742	2677.5	0	0	6000	0	2677.5	0	SI PASA
4	15	2.5	Interior	0.6	0.8	5188.566	21654	903000	SI PASA	2514.19977	7245	0	0	6000	0	7245	0	SI PASA
5	15	2.5	Interior	0.7	0.8	4122.746	19120.5	630000	SI PASA	988.57231	5197.5	0	0	6000	0	5197.5	0	SI PASA
6	15	2.5	Extremo	0.6	l	1602.318	9909	294000	SI PASA	142.79575	2677.5	0	0	6000	0	2677.5	0	SI PASA
7	15	2.5	Interior	0.6	0.8	5591.512	22140	928200	SI PASA	2964.48951	7434	0	0	6000	0	7434	0	SI PASA
8	15	2.5	Interior	0.7	0.8	5997.022	25735.5	924000	SI PASA	3030.83641	7402.5	0	0	6000	0	7402.5	0	SI PASA
9	15	2.5	Interior	0.6	0.8	4710.894	22140	928200	SI PASA	3066.21474	7434	0	0	6000	0	7434	0	SI PASA
10	15	2.5	Extremo	0.6	l	2575.948	16065	613200	SI PASA	1113.66957	5071.5	0	0	6000	0	5071.5	0	SI PASA
11	15	2.5	Extremo	0.6	l	3429.346	16389	630000	SI PASA	1274.22912	5197.5	0	0	6000	0	5197.5	0	SI PASA
12	15	2.5	Extremo	0.6	l	421.442	4239	0	SI PASA	1.02911	472.5	0	0	6000	0	472.5	0	SI PASA
13	15	2.5	Extremo	0.6	l	2404.082	8289	210000	SI PASA	82.81889	2047.5	0	0	6000	0	2047.5	0	SI PASA

Muros verticales

Muro	b	ec	Tipo	Fe	k	Pu	PR	Mo	Revisión	VT	VmR	Ash	Sh	fyh	VsR	VRT	VRT(Concreto)	Conclusión
1	15	2.5	Extremo	0.6	l	20252.838	95769	4746000	SI PASA	15335.57669	52703.4375	0	0	6000	0	52703.4375	0	SI PASA
2	15	2.5	Interior	0.7	0.8	2076.41	13450.5	378000	SI PASA	47.46656	3307.5	0	0	6000	0	3307.5	0	SI PASA
3	15	2.5	Extremo	0.6	l	8575.018	34209	1554000	SI PASA	1493.0923	13800.9375	0	0	6000	0	13800.9375	0	SI PASA
4	15	2.5	Interior	0.7	0.8	6202.462	23845.5	840000	SI PASA	325.31885	6772.5	0	0	6000	0	6772.5	0	SI PASA
5	15	2.5	Extremo	0.6	l	1846.056	12744	441000	SI PASA	58.69191	3780	0	0	6000	0	3780	0	SI PASA
6	15	2.5	Extremo	0.6	l	9745.574	33399	1512000	SI PASA	1368.13785	13289.0625	0	0	6000	0	13289.0625	0	SI PASA
7	15	2.5	Extremo	0.6	l	9131.592	41904	1953000	SI PASA	2432.90948	18663.75	0	0	6000	0	18663.75	0	SI PASA
8	15	2.5	Interior	0.7	0.8	1517.82	10615.5	252000	SI PASA	16.99625	2362.5	0	0	6000	0	2362.5	0	SI PASA
9	15	2.5	Interior	0.7	0.8	2187.354	13450.5	378000	SI PASA	45.95891	3307.5	0	0	6000	0	3307.5	0	SI PASA
10	15	2.5	Extremo	0.6	l	23012.57	95769	4746000	SI PASA	15199.56423	52703.4375	0	0	6000	0	52703.4375	0	SI PASA

## Resultados

Nivel	Muro	Sentido	Material	t	bc	As	Sh
1	1	Horizontal	Tabique	15	15	3	0
1	2	Horizontal	Tabique	15	15	3	0
1	3	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
1	4	Horizontal	Tabique	15	15	3	0
1	5	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
1	6	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
1	7	Horizontal	Tabique	15	15	3	0
1	8	Horizontal	Tabique	15	15	3	0
1	9	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
1	10	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
1	11	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
1	12	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
1	13	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
1	1	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	2	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	3	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	4	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	5	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	6	Vertical	Tabique	15	15	3	0
1	7	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	8	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	9	Vertical	Tabique	15	15	1	0
1	10	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	1	Horizontal	Tabique	15	15	1	24
2	2	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	3	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	4	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	5	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	6	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	7	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	8	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	9	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	10	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	11	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	12	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	13	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
2	1	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	2	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	3	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	4	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	5	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	6	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	7	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	8	Vertical	Tabique	15	15	1	0

2	9	Vertical	Tabique	15	15	1	0
2	10	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	1	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
3	2	Horizontal	Tabique	15	15	2	0
3	3	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	4	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	5	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	6	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	7	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	8	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	9	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	10	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	11	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	12	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	13	Horizontal	Tabique	15	15	1	0
3	1	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	2	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	3	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	4	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	5	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	6	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	7	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	8	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	9	Vertical	Tabique	15	15	1	0
3	10	Vertical	Tabique	15	15	1	0