



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

Coordinación de Investigación y Posgrado



**“METODOS DE EVALUACION SIMPLIFICADA PARA  
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN  
CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA:

**ING. HERNAN CÓRDOVA PERALTA PS977**

DIRECTOR DE TESIS:

**M.I. JORGE ALFREDO AGUILAR CARBONEY**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, JUNIO DE 2021**

## CONSTANCIA



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.  
15 de marzo de 2022  
Oficio No. F.I.01.423/2022

**C. HERNÁN CORDOVA PERALTA**  
**ALUMNO DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA**  
**CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN**  
**P R E S E N T E:**

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

**“MÉTODOS DE EVALUACIÓN SIMPLIFICADA PARA ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA”.**

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

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**

  
**DR. JOSÉ ALONSO FIGUEROA GALLEGOS**  
**ENCARGADO DE DIRECCIÓN**



C.c.p. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinadora de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería.  
C.c.p. Arghy/Minutario  
JAFG/DEB/cpg\*

Teléfonos: (961) 61 7 80 00 ext. 5363 (961) 61 5-03-22 ext. 101. [www.ingenieria.unach.mx](http://www.ingenieria.unach.mx)  
Boulevard Belisario Domínguez, Km 1081, Sin Número | Terán, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. C.P. 29050 | [www.unach.mx](http://www.unach.mx)



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

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

El (la) suscrito (a) Hernán Córdova Peralta,  
Autor (a) de la tesis bajo el título de “ Métodos de Evaluación Simplificada para Estructuras de Mampostería ”  
presentada y aprobada en el año 20 21 como requisito para obtener el título o grado de Maestría en Ingeniería con formación en Construcción, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

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

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 11 días del mes de noviembre del año 20 22 .

Hernán Córdova Peralta

Nombre y firma del Tesista o Tesistas



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez; Chiapas  
A 15 de marzo del 2022

**Dr. José Alonso Figueroa Gallegos**  
Encargado de Dirección  
Facultad de Ingeniería, Campus I  
Universidad Autónoma de Chiapas  
Presente.

Por este medio, me permito informarle que he concluido con la dirección de la tesis que, para obtener el Grado de la Maestría en Ingeniería con formación en Construcción, presenta el alumno **C. Cordova Peralta Hernán**, mediante el trabajo escrito titulado: "**Métodos de evaluación simplificada para estructuras de mampostería**", por lo que doy mi voto aprobatorio para que pueda continuar con los trámites administrativos.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**Atentamente**  
"Por la Conciencia de la Necesidad de Servir"

**M. I. Jorge Alfredo Aguilar Carboney**  
Director de Tesis

Archivo/Minutario



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez; Chiapas  
A 15 de marzo del 2022

**Dr. José Alonso Figueroa Gallegos**  
Encargado de Dirección  
Facultad de Ingeniería, Campus I  
Universidad Autónoma de Chiapas  
Presente.

En nuestra calidad de sinodales del examen para obtener el Grado de la Maestría en Ingeniería con formación en Construcción del (a) alumno (a) **C. Cordova Peralta Hernán**, nos permitimos manifestarle la aceptación del trabajo escrito titulado: **"Métodos de evaluación simplificada para estructuras de mampostería"**. Quedamos enterados de que formaremos parte del jurado del examen de grado, en la fecha y hora que se nos comunique.

**Atentamente**  
**"Por la Conciencia de la Necesidad de Servir"**

  
**M. I. Jorge Alfredo Aguilar Carboney**  
Director de Tesis

  
**Dr. Alexander López González**  
Asesor de Tesis

  
**Dr. Eber Alberto Godínez Domínguez**  
Asesor de Tesis

Archivo/Minutario

## **DEDICATORIA**

Esta tesis esta dedicada a mi padre, a mi madre y mis hermanos por su cariño y apoyo en todo momento.

A mi amada esposa Bertha Aguilar Suriano por su apoyo en los momentos difíciles que hemos tenido y siempre me ha brindado su comprensión, cariño y amor.

A mi hijo Hernán, que es mi motivación para superarme y poderle brindar en su vida un mejor futuro.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis catedráticos por compartir conmigo sus conocimientos, muy en especial al M.I. Jorge Alfredo Aguilar Carboney por su asesoría y apoyo en la elaboración de este trabajo.

A mis compañeros de grupo con quienes participamos en este proyecto, los recordare con gran afecto.

Al Ing. Juan Alberto Sánchez Hernández que ha sido para mi un gran ejemplo para seguir en lo profesional desde que egrese de la licenciatura en ingeniería civil, así también por su apoyo y motivación a culminar este trabajo.

## RESUMEN

La presente tesis tiene por propósito el poder establecer un criterio de evaluación simplificado para estructuras de mampostería y poder evaluar de manera rápida y con un grado de seguridad confiable la vulnerabilidad y resistencia ante un evento sísmico. La evaluación se llevará a cabo comparando los resultados de los métodos de evaluación simplificado para edificaciones de mampostería empleando el manual de sismos de CFE 2015 y la evaluación nivel 2 de la UAM, comparándolo con el método Estático de diseño estructural para estructuras de mampostería.

El capítulo 1 trata sobre los antecedentes del diseño estructural por medio de métodos simplificados, que es la evaluación simplificada de estructuras de mampostería y describe la estructura a analizar. El capítulo 2 explica sobre la evaluación de la capacidad sísmica de estructuras por métodos aproximados, se plantea los requisitos de regularidad, la revisión de la vulnerabilidad y sobre el método simplificado de evaluación de la capacidad sísmica según el manual de sismo de CFE 2015. El capítulo 3 menciona sobre la evaluación de la capacidad sísmica de la estructura por el método estático y se obtienen los resultados de la edificación. El capítulo 4 se expone las conclusiones de la comparación de los resultados del caso en estudio.

## INDICE

<b>CONSTANCIA</b> .....	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VII</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>1.- Antecedentes.</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1.- El análisis estructural en México</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2.- Objetivo General</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3.- Objetivos Particulares</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4.- Limitaciones del Estudio</b> .....	<b>5</b>
<b>1.5.- Propuesta de Estructura de Mampostería</b> .....	<b>5</b>
<b>2.- Evaluación de la capacidad sísmica de la estructura por métodos aproximados.</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.- Regularidad Estructural.</b> .....	<b>7</b>
2.1.1 Condiciones de Regularidad CFE (2015).....	7
2.1.2 Condiciones de Fuerte Irregularidad CFE (2015) .....	10
<b>2.2.- Vulnerabilidad Estructural</b> .....	<b>10</b>
2.2.1 Revisión de la vulnerabilidad (Nivel 1).....	11
2.2.2 Revisión de la vulnerabilidad (Nivel 2).....	13
<b>2.3.- Método Simplificado de evaluación de la capacidad sísmica</b> .....	<b>17</b>
2.3.1 Método Simplificado CFE (2015) Condiciones del Método .....	18
2.3.2 Espectros Sísmicos de Diseño de Aceleración Constante CFE (2015) .....	20
2.3.3 Cargas de diseño.....	22
2.3.4 Evaluación de la excentricidad torsional .....	25
2.3.5 Evaluación de la demanda sísmica por nivel.....	29
2.3.6 Evaluación de la capacidad y demanda del entrepiso y muros .....	30
2.3.7 Evaluación de la demanda y capacidad usando Espectros Sísmicos Regionales de Diseño CFE (2015).....	32
<b>3.- Evaluación de la capacidad sísmica de la estructura por método estático.</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1.- Evaluación de las fuerzas laterales sobre la estructura</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2.- Determinación de la Resistencia por nivel</b> .....	<b>42</b>
<b>3.3.- Determinación de la Resistencia por muro</b> .....	<b>45</b>
<b>4.- Conclusiones</b> .....	<b>48</b>

5.- Bibliografía .....	51
6.- Anexos.....	53

### INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Revisión de las condiciones de regularidad: .....	8
Tabla 2 Condiciones de estructuras fuertemente irregulares.....	10
Tabla 3 Factores de sitio y respuesta estructural para el método simplificado .....	20
Tabla 4 Factores reductores para el método simplificado .....	21
Tabla 5 Cálculo de las cargas de diseño .....	23
Tabla 6 Evaluación de la excentricidad torsional planta alta.....	25
Tabla 7 Evaluación de la excentricidad torsional planta baja.....	27
Tabla 8 Demanda sísmica en la dirección X .....	29
Tabla 9 Demanda sísmica en la dirección Y.....	29

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Plantas estructurales .....	6
Figura 2 Determinación de la vulnerabilidad de la estructura (nivel 1).....	12
Figura 3 Determinación de $S_i$ .....	13
Figura 4 Determinación de $V_{ri}$ .....	14
Figura 5 Factores de participación .....	14
Figura 6 Area de muros en la dirección X.....	15
Figura 7 Area de muros en la dirección Y .....	15
Figura 8 Determinación del cortante actuante .....	16
Figura 9 Parametros de referencia de PRODISIS.....	21
Figura 10 Cálculo del coeficiente sísmico .....	22
Figura 11 Análisis de carga por muro planta alta.....	24
Figura 12 Análisis de carga por muro planta baja.....	25
Figura 13 Evaluación de la capacidad y demanda de planta alta.....	30
Figura 14 Evaluación de la capacidad y demanda de planta baja.....	31
Figura 15 Parametros de PRODISIS del caso en estudio .....	32
Figura 16 Demanda sísmica por nivel .....	33
Figura 17 Capacidad resistente de muros de planta alta en ambas direcciones .....	33
Figura 18 Capacidad resistente de muros de planta baja en ambas direcciones.....	34
Figura 19 Espectro de diseño obtenido del programa PRODISIS .....	37
Figura 20 Demanda sísmica por nivel .....	38
Figura 21 Cálculo de la rigidez de muros de planta alta .....	39
Figura 22 Cálculo de rigidez de muros de planta baja.....	40
Figura 23 Espectro de diseño con periodos de vibrar distintos .....	41
Figura 24 Fuerzas sísmicas por nivel .....	41

Figura 25 <i>Planta Alta, Dirección X</i> .....	42
Figura 26 <i>Planta Alta, Dirección Y</i> .....	43
Figura 27 <i>Planta Baja, Dirección X</i> .....	44
Figura 28 <i>Planta Baja, Dirección Y</i> .....	44
Figura 29 <i>Excentricidades</i> .....	45
Figura 30 <i>Planta Baja, Dirección X</i> .....	46
Figura 31 <i>Planta Alta, Dirección X</i> .....	48
Figura 32 <i>Planta Alta, Dirección Y</i> .....	48
Figura 33 <i>Planta Baja, Dirección X</i> .....	49
Figura 34 <i>Planta Baja, Dirección Y</i> .....	49

## INTRODUCCION

### INTRODUCCION

La presente tesis tiene el objetivo principal de establecer una metodología que permita realizar una evaluación simplificada de estructuras de mampostería, para revisar de forma oportuna y preventiva edificaciones construidas y evaluar su capacidad ante un evento sísmico.

El capítulo 1 menciona como antecedente el análisis estructural en México, las normativas que regulan los diseños sísmicos en donde se menciona los métodos simplificados de estructuras de mampostería, se plantea el objetivo general y particulares sobre la forma en que se realizara la presente investigación, además de las limitaciones del estudio y la estructura propuesta para el caso en estudio.

El capítulo 2 se aborda la temática de la evaluación de la capacidad sísmica de la estructura por métodos aproximados, se plantean las diferentes características de regularidad que deben cumplir las estructuras de mampostería para poder realizar la aplicación del método según la normativa del manual de sismo de CFE 2015, la vulnerabilidad estructural y como evaluarla en estructuras de mampostería, así como la revisión de la vulnerabilidad planteada en una metodología sobre la evaluación de la capacidad sísmica de edificios en México de 1987 de la Universidad Autónoma de México, como un antecedente y propuesta de método de evaluación regionalizándola con las características sísmicas regionales para la ciudad de Tapachula, Chiapas. Se toma como criterio de revisión el método simplificado planteado en el manual de sismo de CFE 2015 y se realiza la determinación de espectros de diseño sísmico, las fuerzas sísmicas a considerar según la zona sísmica y características locales.

En el capítulo 3 se expone la evaluación de la capacidad sísmica de la estructura por método estático según el manual de sismo de CFE 2015, se evalúan las fuerzas sísmicas sobre la estructura en sus dos niveles y la forma en que se distribuyen, se determina la resistencia por nivel de la estructura haciendo la comparación de las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes, se determina la resistencia de cada muro y se obtienen los resultados de diseño.

Por último se obtiene la comparativa de resultados de los métodos aplicados a la estructura en estudio así también las conclusiones a partir de los resultados obtenidos.

ANTECEDENTES.

## **1.- Antecedentes.**

### **1.1.- El análisis estructural en México**

El análisis y diseño estructural en la ingeniería se han venido actualizando con base a la experiencia obtenida del comportamiento de las edificaciones sometidas a eventos extraordinarios, especialmente los sismos que son los que más daño causan a las edificaciones.

En México existen dos grandes referentes para el análisis y diseño estructural de las construcciones civiles, que son las Normas Técnicas Complementarias del Gobierno de Ciudad de México (CDMX, 2017) y el Manual de Obras Civiles de CFE (CFE/INEEL, 2015). En septiembre de 2017 dos grandes eventos sísmicos sacudieron a México, al grado que el Gobierno de Ciudad en noviembre del 2017 (CDMX, 2017), publicó en su Gaceta las Nuevas Normas Técnicas (NTC) que reunían información analizada en diferentes líneas de investigación generadas desde el sismo de 1985. Estas normas de CDMX siguen siendo actualizadas desde entonces, existiendo capítulos con actualizaciones en el pasado 2020 y 2021.

No obstante, el extendido uso que se hace del diseño basado en estas normas de CDMX en la República Mexicana y en especial en el diseño de edificaciones. El análisis de las fuerzas sísmicas solo se circunscribe a la Ciudad de México dejando fuera a la provincia. Por tal razón, a nivel nacional, en diversos estados y municipios de México se suele usar como referencia para este fin sísmico, el Manual de Obras Civiles de CFE, en su capítulo de Diseño Sísmico (CFE/INEEL, 2015), el cual recibió su última actualización en el 2015 por el Instituto de Investigaciones Eléctricas y de Energías Limpias.

El manual de diseño sísmico de CFE es la única bibliografía oficial que recopila información regional que, apoyada en un análisis geofísico de las regiones sismogénicas del país, junto con estudios geotécnicos de los trabajos realizados en sus plantas, se ha servido para estimar las magnitudes sísmicas mediante el análisis estadístico de las recurrencias, fallas geológicas y comportamientos tectónicos.

Este Manual siendo creado para proyectos de la paraestatal no posee calidad de norma para ningún estado o municipio de la provincia, sin embargo forma parte de la metodología dictada como referencia en muchos reglamentos de construcción que le han dado la calidad de oficial,

## ANTECEDENTES.

además es el único con el alcance idóneo para solventar la falta de parámetros sísmicos de diseño en las distintas localidades en que se proyecta una construcción civil, siendo incluso referido en las NTC de CDMX para el análisis y diseño de elementos estructurales propios de instalaciones industriales.

Sin embargo, la existencia de este manual, no eximen la necesidad de estudios específicos locales como la mecánica de suelos que permitan ayudarnos en la selección adecuada de los parámetros que el manual requiere para su uso.

El uso de las nuevas tecnologías informáticas (NTI) ha venido desarrollando la ingeniería que en el pasado se veía inalcanzable, más por el tiempo que involucraría el análisis de diversos parámetros que nos permitieran evaluar condiciones de servicio y aun comportamientos fuera del rango elástico, al grado tal que, la normativa de CDMX ha eliminado el análisis simplificado como opción de cálculo optándose por metodologías mas laboriosas pero que las NTI permiten. No así el Manual de obras civiles aun lo permite, al menos para sus instalaciones en el resto de la república mexicana.

Las nuevas generaciones de ingenieros más familiarizados con el modelaje computacional desdeñan los métodos simplificados como una opción para el análisis, no obstante, se trate de estructuras muy regulares cuyo comportamiento puede estimarse con suficiente seguridad por estos métodos básicos. Especialmente tratándose de evaluaciones estructurales con fines de habitabilidad y cambio de uso y revalidación de este.

Precisamente, tratándose de evaluaciones estructurales para determinar la vulnerabilidad del comportamiento de manera rápida particularmente después de un evento sísmico el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) propone cuatro niveles de evaluación (CENAPRED, 2014):

1. Nivel 0.- Evaluación Visual,
2. Nivel 1.- Evaluación Simplificada,
3. Nivel 2.- Evaluación Detallada,
4. Nivel 3.- Evaluación Estructural Formal y proyecto de rehabilitación.

En particular nos referiremos a la Evaluación Simplificada, desarrollada originalmente por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y propuesta por la Secretaría General de

## ANTECEDENTES.

Obras del Departamento del Distrito Federal (1987) para la evaluación de las estructuras que subsistieron al evento sísmico más trascendente de Ciudad de México en 1985.

Dicha metodología ha servido de referencia casi sin cambios en los eventos del 2017 por lo que puede considerarse como un buen esquema de evaluación preliminar para juzgar proyectos habitacionales comunes en provincia con superficies menores a los 200 m<sup>2</sup>, especialmente en el otorgamiento de licencias de construcción, renovación de licencias de funcionamiento y actualizaciones normativas.

### **1.2.- Objetivo General**

El presente trabajo pretende establecer las bases para realizar una evaluación simplificada de estructuras de mampostería para determinar de forma preliminar, rápida y segura su comportamiento ante cargas sísmicas.

### **1.3.- Objetivos Particulares**

Tomar de base el modelo simplificado de CFE y la evaluación simplificada nivel 2 de la UAM, con la finalidad de afinar un método de evaluación simplificada para estructuras de mampostería.

- Determinar los ajustes a los espectros de aceleración constante propuestos por el manual CFE (2015).
- Determinar los ajustes a la magnitud de la fuerza sísmica debidas a la coincidencia en periodo del suelo y de la estructura.
- Determinar los ajustes a la distribución de fuerzas en la estructura considerando la excentricidad de las cargas sísmicas y el centroide de la estructura.

La evaluación se llevará a cabo comparando los resultados de los métodos de evaluación simplificado para edificaciones de mampostería empleando el manual de sismos de CFE 2015 y la evaluación nivel 2 de la UAM, comparándolo con el método Estático de diseño estructural para estructuras de mampostería.

ANTECEDENTES.

#### **1.4.- Limitaciones del Estudio**

Investigadores como Zárate, Ayala y García (Zárate, Ayala, & García, 2003), recapitulan las investigaciones de varios métodos estáticos de las postrimerías del siglo pasado y aun vigentes de alguna forma en el Manual de CFE (2015), comparándolos con el método modal espectral, haciendo notar que la asimetría y la altura de las edificaciones son factores que distorsionan los resultados debido a la variabilidad del centro de torsión que el método estático usa. Se comenta sobre alturas que no excedan los 30 m, para su aplicación, en la mayoría de estos métodos.

Al igual que los investigadores antes mencionados, Tena Colunga et al (2010) con los resultados de su investigación, contribuye a la actualización del Método Simplificado del Manual de CFE (2008), en el cual limita la excentricidad torsional en 5% del largo de la edificación en la dirección paralela al análisis, en tanto que, si se consideran el agrietamiento total, puede tolerarse hasta el 10% de esta torsión para el método.

Las construcciones de mampostería en Chiapas y particularmente en Tapachula, escasamente superan los 18 m, siendo más del 90% de ellas de hasta 10 m de altura, por lo que la revisión tomará como límite este parámetro de altura.

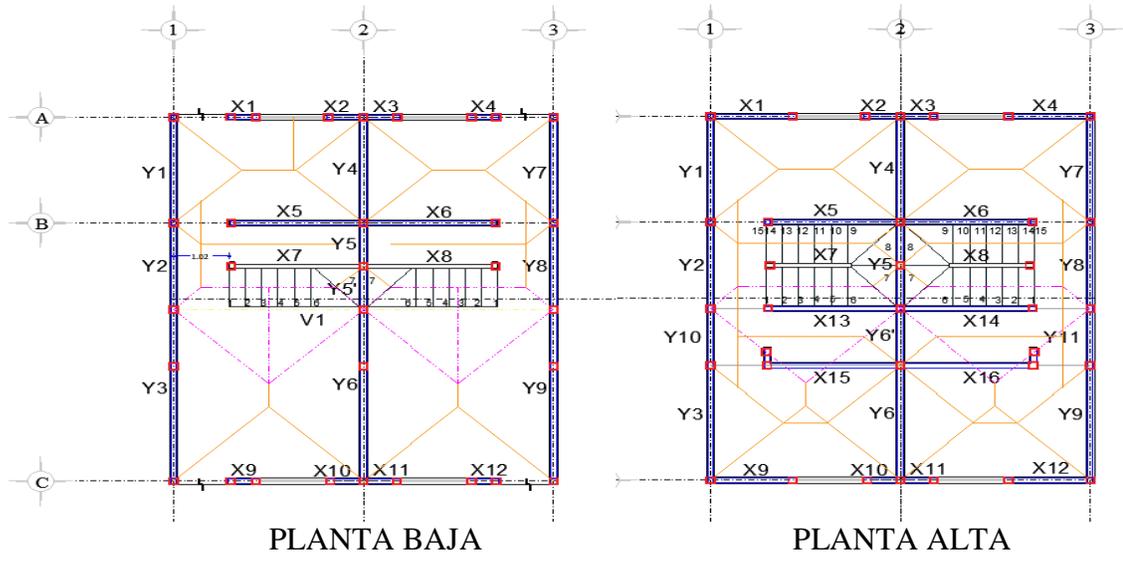
También se limitará la torsión buscando estructuras regulares en su distribución en planta y elevación, tomando en cuenta las condiciones de regularidad establecidas tanto por las NTC (CDMX, 2017) como el Manual de Obras Civiles en su Capítulo de Diseño Sísmico de CFE (2015), para juzgar preliminarmente los resultados de las aproximaciones.

#### **1.5.- Propuesta de Estructura de Mampostería**

Se presenta una estructura común de edificaciones de mampostería, tipo dúplex, considerando el sitio de su desplante en Tapachula (Ver planos arquitectónicos en anexo 1). Para facilitar su análisis los muros se les asigno la nomenclatura de la siguiente manera:

ANTECEDENTES.

**Figura 1** Plantas estructurales



## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

### **2.- Evaluación de la capacidad sísmica de la estructura por métodos aproximados.**

#### **2.1.- Regularidad Estructural.**

Las experiencias sísmicas en Ciudad de México en 1985 y en el 2017, nos ha dejado grandes enseñanzas en el comportamiento de las estructuras, siendo el concepto de regularidad estructural el más sobresaliente de ellos debido a que diversos de los colapsos y daños estructurales reportados en esos eventos sísmicos pueden fácilmente ser atribuibles a una condición de regularidad mencionada en el Manual de Obras Civiles de CFE (2015).

##### *2.1.1 Condiciones de Regularidad CFE (2015)*

1. La distribución sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales.
  2. Relación entre la altura y la dimensión menor de la base menor o igual de 2.5.
  3. Relación entre largo y ancho de la base menor o igual de 2.5.
  4. Entrantes y salientes cuya dimensión no exceda 20% de la dimensión de análisis.
  5. En cada nivel se tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.
  6. Aberturas en techo o piso cuya dimensión no exceda 20% de la dimensión de análisis. Las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas en planta y en elevación.
  7. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva no es mayor que 110% ni menor que 70% del correspondiente al piso inmediato inferior. Sin considerar azotea.
  8. Ningún piso tiene un área mayor que 110% ni menor que 70% de la del piso inmediato inferior.
  9. Todas las columnas están restringidas en dos direcciones ortogonales por trabes o losas planas.
  10. La rigidez y la resistencia al corte de cada entrepiso no excede en más de 50% a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de esta condición.
  11. En cada entrepiso, la excentricidad torsional calculada estáticamente no excede en más de 10% su dimensión en planta, medida paralelamente a la excentricidad torsional.
- (CFE/INEEL, 2015)

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

**Tabla 1** Revisión de las condiciones de regularidad:

REQUISITOS	REVISIÓN	CUMPLE S/N
1 Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Éstos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.		N
2 La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.	$(2.60+2.60) / 7.00 = 0.75 < 2.50$	S
3 La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.	$8.62 / 7.00 = 1.23 < 2.50$	S
4 En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.		S
5 En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.		S
6 No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.	$2(2.45)(2.00) / [(8.62)(7.00)] = 16.24\%$	S
7 El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del	$75.4 \text{ ton} / 66.7 \text{ ton} = 113\% < 110\%$	N

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

último nivel de la construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso.

8	Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la menor de los pisos inferiores.	S
9	Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.	S
10	Ni la rigidez ni la resistencia al corte de ningún entrepiso difieren en más de 50 por ciento de la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.	S
11	En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente, $e_s$ , excede del diez por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.	S

Como podemos notar debido a la falta de simetría la estructura propuesta es IRREGULAR, se puede esperar que algunos de sus elementos tengan problemas debido a la acción sísmica especialmente al aplicar el método estático que tomará en cuenta la excentricidad torsional correspondiente.

Ahora también conviene determinar que tan irregular es la estructura:

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

### 2.1.2 Condiciones de Fuerte Irregularidad CFE (2015)

**Tabla 2** Condiciones de estructuras fuertemente irregulares

REQUISITOS	REVISIÓN	CUMPLE S/N
1 La excentricidad torsional calculada estáticamente, excede en algún entrepiso de 20 por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso, medida paralelamente a la excentricidad mencionada.	$e_s \text{ máx} = 32.0\%$	S
2 La rigidez o la resistencia al corte de algún entrepiso exceden en más de 100 por ciento a la del piso inmediatamente inferior.	Variación máx. de rigidez de un entrepiso con relación al entrepiso anterior $> 100\%$	S

Siendo que se cumplen las condiciones de estructuras fuertemente irregulares, nuestra edificación propuesta puede que presente problemas debido al incremento de las demandas en los muros por momento torsionante.

### 2.2.- Vulnerabilidad Estructural

La vulnerabilidad estructural es el hecho de que una edificación sea proclive a resultar afectada por una sollicitación originada por un fenómeno perturbador debido a su condición de regularidad, daño acumulado, condiciones de servicio y condiciones de sitio.

Con base en lo anterior y como resultado de haber analizado más de 200 edificaciones afectadas por el sismo de 1985 en Cd. De México; Iglesias, Aguilar, Mota (Iglesias, Aguilar Carboney, Mota, & Terán, 1987) propusieron un método simplificado de evaluación de la capacidad sísmica de edificios de concreto que toma como base el Método Simplificado del Reglamento de Construcciones del entonces D.F. en 1976. El método toma en cuenta la

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

contribución de los elementos estructurales según sean muros de mampostería (m), Muros de Concreto (M) y columnas de concreto (c). Este método ahora es conocido como el método de la UAM-B (Evaluación de la Capacidad Sísmica de edificios en México, 1987)

En el método de la UAM-B, se asume la ductilidad estructural como parte de la contribución a la resistencia de la estructura debida al comportamiento inelástico y sobre resistencia, no obstante, se castiga la presencia de las columnas cortas (cc) reduciendo la capacidad total del edificio mediante un factor (F) igual a 0.8 ante la presencia de estos elementos. Y esto es así, ya que, en 1985, no se habían evidenciado otros causantes de daño en las estructuras mayor al de las columnas cortas.

Como sabemos, el método estático distribuye la fuerza sísmica del entrepiso de forma proporcional a las rigideces de los elementos, para ello el método de la UAM usa unos factores que simulan ese efecto dotando de mayor participación a los elementos de concreto. A este método de la UAM-B se le pueden adicionar algunas mejoras como las propuestas por Juárez G., Gómez B., Gama C. et al (2014), para el método UAM-A modificado, en donde se toman en cuenta varios factores que tiene que ver con la regularidad estructural, ductilidad y condiciones de servicio y daño acumulado.

### *2.2.1 Revisión de la vulnerabilidad (Nivel 1)*

En este análisis se utilizó el método referido en el reporte “Evaluación de la Capacidad Sísmica de edificios en México” (Secretaría General de Obras Públicas del Departamento del D.F., 1987) que corresponde al método hoy conocido como UAM-A. Este método se ha usado para realizar valorizaciones rápidas de las edificaciones, especialmente después de un evento sísmico por su simplicidad, pero que sin duda arroja buena sobre la importancia del diseño estructural de una edificación vulnerable, ya que toma algunos parámetros referidos en la revisión de la regularidad antes visto.

# EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

**Figura 2** Determinación de la vulnerabilidad de la estructura (nivel 1)

<b>1. Estructura en planta</b>				<b>2</b>
1.1 Excentricidades				2
a) No existe (BAJA)				
b) Menor al 20% (INTERMEDIA)				
c) Mayor al 20% (ALTA)				
1.2 Salientes				0
a) Menor al 10% (BAJA)	AREA TOTA	120.68		
b) Menor al 30% (INTERMEDIA)	VACIO	10.00		
c) Mayor al 30% (ALTA)	DA =	8%		
1.3 Relación Largo/Ancho				0
a) Menor al 3 (BAJA)	LARGO	8.62		
b) Mayor a 3 (INTERMEDIA)	ANCHO	14.00		
c) Mayor a 4 (ALTA)	L/B =	0.62		
<b>2. Estructura en elevación</b>				<b>0</b>
2.1 Relación Alto/Ancho				0
a) Menor a 2.5 (BAJA)	ALTO	3.00		
b) Mayor a 2.5 (INTERMEDIA)	ANCHO	14.00		
c) Mayor al 3.0 (ALTA)	H/B =	0.21		
2.2 Discontinuidades				0
a) Menor al 20% (BAJA)				
b) Menor al 30% (INTERMEDIA)				
c) Mayor al 30% (ALTA)				
2.3 Planta flexible				0
a) No existe (BAJA)				
b) Planta Baja (INTERMEDIA)				
c) Plantas Intermedias (ALTA)				
2.4 Columnas Cortas				0
a) No existe (BAJA)				
b) Si existe (INTERMEDIA)				
c) Es muy repetitivo (ALTA)				
<b>3. Cimentación</b>				<b>0</b>
3.1 Desplome				0
a) Sin desplome (BAJA)				
b) Menor al 2% de la altura (INTERMEDIA)				
c) Mayor al 2% de la altura (ALTA)				
3.2 Hundimientos diferenciales				0
a) Sin hundimientos (BAJA)				
b) Menor al 0.8% entre ejes (INTERMEDIA)				
c) Mayor al 0.8% entre ejes (ALTA)				
3.3 Hundimiento o emersión global				0
a) Nulo (BAJA)				
b) Menor a 20 (INTERMEDIA)				
c) Mayor a 20 cm (ALTA)				
<b>4. Condición de sitio</b>				<b>2</b>
4.1 Sísmico				2
a) No sísmico (BAJA)				
b) Baja sismicidad e intermedia (INTERMEDIA)				
c) Alta sismicidad (ALTA)				
4.2 Viento (Estruct. Metálica)				0
a) Baja exposición (BAJA)				
b) Terreno expuestos (INTERMEDIA)				
c) Costas (ALTA)				
4.3 Colindancias				1
a) Separación adecuada y edificios bajos (BAJA)				
b) Poca separación y/o sin edificios (INTERMEDIA)				
c) Sin separación y edificios (ALTA)				
<b>5. Deterioro</b>				<b>0</b>
5.1 Fisuras en elementos estructurales				0
a) menores de 1mm (BAJA)				
b) menores de 3mm (INTERMEDIA)				
c) mayores de 3mm (ALTA)				
5.2 Reparaciones				0
a) No existe (BAJA)				
b) En elementos no estructurales (INTERMEDIA)				
c) En elementos estructurales (ALTA)				
5.3 Daño o deterioro por edad o materiales dañados				0
a) No se observa (BAJA)				
b) En elementos no estructurales (INTERMEDIA)				
c) En elementos estructurales (ALTA)				
** Califica con 2 ALTA, 1 INTERMEDIA y 0 el nivel BAJO				
** Una calificación ALTA o dos INTERMEDIAS, generan 2 puntos a la vulnerabilidad de la categoría.				
** La suma de todas las calificaciones de las categorías debe ser menor de 3 para considerarse no vulnerable.				
PUNTAJE				<b>4</b>
VULNERABILIDAD				<b>ALTA</b>

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

### 2.2.2 Revisión de la vulnerabilidad (Nivel 2)

Determinación del coeficiente sísmico reducido resistente

$$K_i = \frac{V_{ri} S_i}{V_{ai}}$$

Donde:

$K_i$  = Coeficiente sísmico reducido resistente

$S_i$  = Corrección por regularidad de estructuración

$V_{ri}$  = Cortante Sísmico Simplificado Resistente

$V_{ai}$  = Cortante Actuante

Este método es aplicable a estructuras con no más de 4 niveles (13 m) con márgenes aceptables de seguridad, basándose en el Método Simplificado (NTC M, 2004).

Para nuestro proyecto, y apoyándonos un tanto en lo que ya evaluamos para el Nivel 1, podemos calcular el factor de corrección por regularidad:

**Figura 3** Determinación de  $S_i$

$$S_i = q_1 q_2 q_3 q_4 q_5$$

$q_i$	Concepto	Valor de $q_i$			$q_i$
		0.80	0.90	1.00	
$q_1$	Estructuración en planta	$e/B > 20\%$ $DA > 30\%$	$10\% < e/B \leq 20\%$ $10\% < DA \leq 30\%$ $L/l > 3$	$e/B \leq 10\%$ $DA \leq 10\%$ $L/l \leq 3$	0.80
$q_2$	Estructuración en elevación	$DA > 30\%$	$10\% < DA \leq 30\%$ P. B. flexible	$DA \leq 10\%$	0.90
$q_3$	Cimentación	$d > 2\%$ $h > 40$ $hD/l > 0.008$	$1\% < d \leq 2\%$ $20 < h \leq 40$ $0.004 < hD/l \leq 0.008$	$d \leq 1\%$ $h \leq 20$ $hD/l \leq 0.004$	1.00
$q_4$	Ubicación	$s/H < sr$	$sr \leq s/H < 2sr$	$s/H \geq 2sr$	0.80
$q_5$	Deterioro	$> 30$ años Daño fuerte Reparación mayor	10 a 30 años Daño ligero Reparación menor	$< 10$ años Daño no estructural	1.00
Donde:					$S_i =$
$e/B$	Relación entre la excentricidad y la dimensión de la planta en la misma dirección.				0.58
$DA$	Área de entrantes y salientes como % del total.				
$DA$	Cambios en % entre áreas de las plantas que limitan el entrepiso.				
$DA$	Cambios en % entre áreas de elementos estructurales (columnas y muros).				
$L/l$	Relación entre lado largo y lado corto.				
$d$	Pendiente del desplome.				
$h$	Hundimiento en centímetros.				
$hD/l$	Hundimiento diferencial entre columnas vecinas.				
$s/H$	Relación entre la separación de construcciones colindantes y la altura de la menor.				
$sr$	0.008 para suelos cuyo periodo sea mayor a 1 s				
$sr$	0.007 para suelos cuyo periodo sea entre 0.4 y 1 s ← Tapachula entre este tipo de suelo				
$sr$	0.006 para suelos cuyo periodo sea menor a 0.4 s				

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

El periodo del suelo de Tapachula se estimó basado en el estudio de Microzonificación Sísmica de Tapachula (Mora, y otros, 2012) entre 0.20 y 1.08, por lo que se seleccionó  $0.4 < s_r < 1.0$ .

**Figura 4** Determinación de  $V_{ri}$

$$V_{ri} = (a_1 (0.7 V_m + V_{cci}) + a_2 V_{Mi} + a_3 V_{ci}) F$$

Donde:

$V_m$	Cortante resistente en muros		$\frac{1.5 \text{ kg/cm}^2 (A_i)}{15 \text{ kg/cm}^2 (A_i)}$
$V_{cci}$	Cortante resistente en columnas cortas de concreto		$\frac{15 \text{ kg/cm}^2 (A_i)}{15 \text{ kg/cm}^2 (A_i)}$
$V_{Mi}$	Cortante resistente en muros de concreto	1) Columnas extremas 2) Una columna 3) Sin columnas	20 kg/cm <sup>2</sup> (A <sub>i</sub> ) 16 kg/cm <sup>2</sup> (A <sub>i</sub> ) 12 kg/cm <sup>2</sup> (A <sub>i</sub> )
$V_{ci}$	Cortante resistente en columnas de concreto	1) $2 < H/h < 6$ 2) $6 < H/h < 10$ 3) $10 < H/h$	10 kg/cm <sup>2</sup> (A <sub>i</sub> ) 7 kg/cm <sup>2</sup> (A <sub>i</sub> ) 5 kg/cm <sup>2</sup> (A <sub>i</sub> )
$A_i$	Área Transversal del elemento i-ésimo		
$H$	Altura libre de la columna		
$h$	Peralte de la columna		
$F$	Factor de reducción de resistencia a mamposterías y columnas cortas		
	$F=0.8$ si existe $V_{cc}$ y/o $V_m$ , $F=1.0$ si no existe $V_{cc}$ ni $V_m$		
$a_1, a_2$ y $a_3$	Factores de corrección		

Las capacidades límite de los muros de mampostería, se seleccionaron de acuerdo a lo indicado por el reporte (Evaluación de la Capacidad Sísmica de edificios en México, 1987).

Se consideró la participación de los muros conforme a los siguientes factores:

**Figura 5** Factores de participación

**Fuerza resistentes suministradas por:**

	<b><math>a_1</math></b>	<b><math>a_2</math></b>	<b><math>a_3</math></b>
Elementos mixtos	<b>1.0</b>	<b>0.7</b>	<b>0.5</b>
Elementos de concreto	<b>0.0</b>	<b>1.0</b>	<b>0.7</b>
Solo columnas	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>1.0</b>

Para el elemento principal, en este caso los muros, participan con un factor de  $a_1=1.0$  (100%), los otros elementos en las proporciones de 0.7 y 0.5.

El área de los muros en la dirección X que aportan capacidad es:

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

**Figura 6** Area de muros en la dirección X

**MUROS EN X**

#	L (m)	t (cm)	Ai (cm <sup>2</sup> )
X1	0.62	14	868
X2	0.70	14	980
X3	0.70	14	980
X4	0.62	14	868
X5	2.47	14	3,458
X6	2.47	14	3,458
X7	2.47	14	3,458
X8	2.47	14	3,458
X9	0.62	14	868
X10	0.70	14	980
X11	0.70	14	980
X12	0.62	14	868
			<b>21,226</b>

Por lo que el cortante suministrado por los muros, considerando un aporte a la falla de 1.5 kg/cm<sup>2</sup>, será:

$$V_{mi} = 31,838.55 \text{ kg}$$

Y en la dirección Y:

**Figura 7** Area de muros en la dirección Y

**MUROS EN Y**

10	2.50	14	3,500
11	2.05	14	2,870
12	4.06	14	5,684
13	2.50	14	3,500
14	1.03	14	1,435
15	1.03	14	1,435
16	4.06	14	5,684
17	2.50	14	3,500
18	2.05	14	2,870
27	4.06	14	5,684
			<b>36,162</b>

El cortante en la dirección Y será:

$$V_{mi} = 54,243.00 \text{ kg}$$

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

Por lo que el cortante resistente en la planta baja de acuerdo con la formulación del método y en cada dirección de nuestro análisis, finalmente quedaría:

$$V_{ri} = (a_1 (0.7 V_m + V_{cci}) + a_2 V_{Mi} + a_3 V_{ci}) F$$

Donde F no tiene ninguna afectación por columnas cortas, por lo que  $F=1.0$

$$V_{RX} = 22,286.99 \quad \text{kg}$$

$$V_{RY} = 37,970.10 \quad \text{kg}$$

La determinación del Cortante Actuante ( $V_{ai}$ ) se realizó mediante un formato simplificado, en el que se calculó de forma global el peso de la losa descontando las áreas vacías y el peso de los muros de carga. Y se aplicó la siguiente fórmula para estimar la fuerza cortante actuante en el nivel de interés, que por simplicidad será solamente la planta baja:

$$F_i = (FC) W_{tot} \frac{\sum w_i}{\sum w_i h_i}$$

Donde:

n = número de pisos.

$w_i$  = peso del piso j.

$h_i$  = altura del entrepiso j.

(FC) = Factor de carga (1.1).

$W_{tot}$  = peso total de la estructura.

**Figura 8** Determinación del cortante actuante

NIVEL	AREA (m <sup>2</sup> )	w (kg/m <sup>2</sup> )	Wi (kg)	Hi (m)	hi (m)	Wih <sub>i</sub> (kg-m)	Fi (kg)	V <sub>ai</sub> (kg)
1	120.96	591.12	71,501.39	2.70	2.70	193,053.74	51,531.01	166,034.85
2	120.96	656.74	79,439.39	2.70	5.40	428,972.68	114,503.84	114,503.84
			$\Sigma W_i = 150,940.77$ kg			$\Sigma W_{ih_i} = 622,026.43$ kg-m		

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

Por lo que aplicando la fórmula para determinar el coeficiente sísmico resistente, quedaría, considerando que el Reglamento de Construcciones de Tapachula considera para un terreno intermedio (Tipo II)  $C = 0.32$ :

Y al considerar la ductilidad  $Q = 2$ :  $C_s = 0.16$

Entonces:

$$K_i = V_{ri} S_i / V_{ai}$$

### DIRECCIÓN X (PLANTA BAJA)

$$Q K_i = 0.155 < C_s$$

### DIRECCIÓN Y (PLANTA BAJA)

$$Q K_i = 0.263 > C_s$$

Notamos que para la dirección X, el coeficiente resistente afectado por ductilidad es menor que el actuante, por lo que la edificación es vulnerable en la dirección X.

### 2.3.- Método Simplificado de evaluación de la capacidad sísmica

El método simplificado hasta el 2012 había tenido una amplia aceptación e incluso se realizaron varias investigaciones tendientes a perfeccionar la metodología, como la que reporta Tena Colunga y otros (Tena Colunga, Cano Licona, López Blancas, & Pérez Osornio, 2010).

No obstante, después del sismo de septiembre del 2017, en Cd. De México, el método dejó de ser considerado fiable. Evidentemente los suelos de Ciudad de México son suelos complicados debido a su origen lacustre, su capacidad de carga y la variabilidad de los períodos de sitio lo hacen requerir de diseños que tomen en cuenta los estados de comportamiento inelásticos y la interacción suelo estructura. Las decisiones normativas que se tomaron para Ciudad de México son idóneas para sus condiciones de sitio, mas no

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

necesariamente para otras regiones. Independientemente que las nuevas tecnologías informáticas permitan solventar cálculos muy precisos, en el caso de las edificaciones de vivienda en Tapachula cuya altura no excede a 10 m y con suelos bastante resistentes y estables, dichos métodos aun son mejores que la falta de estos.

Actualmente el Manual de Obras Civiles, capítulo de diseño sísmico de CFE (2015), aun sugiere el método simplificado como opción de revisión estructural para edificaciones de importancia común (Tipo B.2).

### *2.3.1 Método Simplificado CFE (2015) Condiciones del Método*

El método simplificado solamente se aplicará al análisis de estructuras tipo B.2, es decir estructuras que requieren un grado de seguridad convencional, que no son estratégicas y que no afectan gran cantidad de vidas, además de que cumplen lo siguiente:

El método es aplicable a:

Edificaciones regulares con altura menor a 30 m, o

Edificaciones Irregulares con altura menor a 20 m.

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

Para que la distribución de elementos resistentes se considere sensiblemente simétrica, la excentricidad torsional en las dos direcciones ortogonales, calculada de manera estática, no excederá el 10% de la dimensión en planta del edificio, en la dirección medida de forma paralela a la excentricidad.

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

Los muros podrán ser de mampostería, concreto reforzado, acero, madera o compuestos. En el caso de la madera, deberán estar arriostrados con diagonales. Sin embargo, en la estructura, todos los muros en todos los entresijos deberán ser de un mismo material.

Se deberá garantizar que la distribución de las cargas verticales soportadas por los muros coincida con los ejes de la cimentación, en todos los niveles.

No aplica este método para sistemas con cimentaciones compensadas.

La relación entre longitud y ancho de la planta de la estructura no excederá de 2.0. No obstante, para fines de análisis sísmico, dicha planta se puede dividir en tramos independientes cuya relación entre longitud y ancho satisfaga la relación entre longitud y ancho, así como la indicada en el punto 1, relativo a la excentricidad, y que cada tramo resista la fuerza cortante que le corresponda calculada como se indica al final de esta sección.

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

El sistema de piso constituye un diafragma rígido y resistente. Por lo tanto, no podrá utilizar el método simplificado en estructuras cuyo sistema de piso esté compuesto por:

- a) madera contrachapada (triplay) sobre vigas o armaduras de madera,
- b) lámina de acero sobre vigas o armaduras de acero,
- c) losa plana aligerada con casetones o bloques de espuma de poliestireno de grandes dimensiones (mayores a 60 cm por lado) o,
- d) vigueta de concreto presforzado con bovedillas de espuma de poliestireno de grandes dimensiones.

Los anteriores puntos son cubiertos por nuestra edificación, por lo que el método resulta aplicable.

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

Para aplicar este método se hará caso omiso de los desplazamientos horizontales, momentos torsionantes, momentos de volteo y flexibilidad del diafragma. Únicamente será necesario verificar que en cada piso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga, proyectadas en la dirección en que se considera la aceleración, sea cuando menos igual a la fuerza cortante total que obre en el piso.

### 2.3.2 Espectros Sísmicos de Diseño de Aceleración Constante CFE (2015)

Para evaluar las cargas actuantes se calculará la ordenada espectral máxima normalizada  $a(T_a, \beta)$ , usando los espectros de aceleración constante cuyos parámetros consigna el manual de CFE (2015):

$$S_a(T_e, \beta) = c \beta(T_e, \zeta_e)$$

$$c = F_{\text{sit}} F_{\text{res}} a_0^r$$

$$a(T_a, \beta) = S_a(T_e, \beta)/g$$

**Tabla 3** Factores de sitio y respuesta estructural para el método simplificado

Zona Sísmica	F <sub>sit</sub>	F <sub>res</sub>
A	3.0	4.2
B	3.0	4.2
C	2.7	3.9
D	2.3	3.6

Donde

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2 \text{ (aceleración de la gravedad)}$$

Los factores de sobrerresistencia y ductilidad que podrán aplicarse a las ordenadas sísmicas para considerar el comportamiento inelástico serán las que a continuación se transcriben, y considerando la redundancia estructural como  $\rho = 1$ .

La ordenada espectral máxima normalizada se evalúa en dos direcciones ortogonales de acuerdo con las condiciones propias de la dirección de análisis.

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

**Tabla 4** Factores reductores para el método simplificado

Tipo de Muro	$Q'(Te,Q)$	$R(Te,Ro)$
Muros combinados con marcos dúctiles de concreto reforzado.	3	
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal o malla.		
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas; mampostería de piezas huecas confinada y reforzada horizontalmente o mampostería de piezas huecas confinada y reforzada con malla	2	
Muros de carga de mampostería combinada y confinada.		
Muros de carga de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior, o muros de madera de duela.		2
Muros combinados con marcos de concreto reforzado con ductilidad limitada.	1.5	
Muros de carga de mampostería confinada de bloques huecos de concreto		
Muros de carga de mampostería que no cumplan las especificaciones para mampostería confinada ni para mampostería reforzada interiormente	1.25	

### PRODISIS

El PRODISIS es un software desarrollado por INEEL para evaluar el peligro sísmico determinando un espectro de respuesta en roca para un periodo de retorno específico regulado por la sismicidad regional y condiciones de diseño óptimo (INEEL-CFE, 2015).

Cálculo del coeficiente sísmico

De la Ubicación en PRODISIS obtenemos:

**Figura 9** *Parámetros de referencia de PRODISIS*

Parámetros de Referencia			
$a_0^r =$	299.43 cm/s <sup>2</sup>	$v_{máx}^r =$ 32 cm/s	$d_{máx}^r =$ 49 cm
$c^r =$	848.22 cm/s <sup>2</sup>	$T_r =$ 340.88 años	Zona sísmica: <b>D</b>

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

Zona sísmica **D**

$$a_0^r = 299.43 \text{ cm/s}^2$$

$$F_{\text{sit}} = 2.30$$

$$F_{\text{res}} = 3.60$$

$$c = F_{\text{sit}} F_{\text{res}} a_0^r$$

$$c = (2.3)(3.6) (299.43) = 2,479.28 \text{ cm/s}^2$$

Considerando que la estructura está resuelta a base de muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas,  $Q' = 2$  y  $R = 2$  para ambas direcciones.

**Figura 10** Cálculo del coeficiente sísmico

DIRECCION X		DIRECCION Y	
Q' =	2.00	Q' =	2.00
R =	2.00	R =	2.00
Sa =	2,479.28	Sa =	2,479.28 ( $\zeta = 5\%$ )
a =	2.53	a =	2.53
<b>a/Q'R =</b>	<b>0.632</b>	<b>a/Q'R =</b>	<b>0.632</b>

Ya tenemos el coeficiente sísmico a emplear en el análisis  $C_s = 0.632$ , como puede notarse es  $(0.632/0.160 = 3.95)$  veces el permitido por el Reglamento de Tapachula con que evaluamos la vulnerabilidad. De hecho, el Manual de CFE (2015) menciona que es uno de los métodos más conservadores que incluye este manual.

### 2.3.3 Cargas de diseño

Aunque usaremos una metodología del Manual de Obras Civiles de CFE para el análisis sísmico, consideramos suficiente el uso de las NTC (CDMX, 2017) para estimar los factores de sobrecarga en las edificaciones comunes, esto respaldado en el trabajo de la Dra. Sonia E. Ruíz y su equipo de la UNAM (Factores de Cargas Viva y Muertas (Secc 3.4A NTCCA), 2012). Cabe mencionar que los factores consignados en el manual de CFE, debido a su naturaleza de obras de infraestructura, son más conservadores para todas las edificaciones.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

**Tabla 5** *Cálculo de las cargas de diseño*

LOSA DE AZOTEA	GRAV	SISM
PESO PROPIO	240.00	Kg/m <sup>2</sup>
APLANADO	30.00	Kg/m <sup>2</sup>
IMPERMEABILIZANTE	15.00	Kg/m <sup>2</sup>
ADICIONAL NTC	40.00	Kg/m <sup>2</sup>
CV GRAV	100.00	Kg/m <sup>2</sup>
CV SISM		70.00 Kg/m <sup>2</sup>
	425.00	395.00
	GRAVITACIONAL (1.3 M+1.5 V)	572.50 Kg/m <sup>2</sup>
	SISMICA (1.1 M+1.1 V)	434.50 Kg/m <sup>2</sup>
LOSA ENTREPISO	GRAV	SISM
PESO PROPIO	240.00	Kg/m <sup>2</sup>
MORTERO	42.00	Kg/m <sup>2</sup>
MOSAICO	32.00	Kg/m <sup>2</sup>
ADICIONAL NTC	20.00	Kg/m <sup>2</sup>
CV GRAV	190.00	Kg/m <sup>2</sup>
CV SISM		100.00 Kg/m <sup>2</sup>
	524.00	434.00
	GRAVITACIONAL (1.3 M+1.5 V)	719.20 Kg/m <sup>2</sup>
	SISMICA (1.1 M+1.1 V)	477.40 Kg/m <sup>2</sup>

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

**Figura 11** *Análisis de carga por muro planta alta*

Planta alta									
Wmuro =	347.79	Kg/m2				f'm =	15.00	Kg/cm2	
hmuro =	2.60	m				V'm =	2.00	Kg/cm2	
Wazotea =	434.50	Kg/m2				FR =	0.70		

MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	PESO MURO	AREA TRIB	PESO AZOTEA	TOTAL ENTREPISO	TOTAL
X1	14	1.60	1.63	1,446.79	1.9745	857.92	2,304.71	2,304.71
X2	14	1.40	1.86	1,265.94	1.68	730.13	1,996.08	1,996.08
X3								
X4	14	1.60	1.63	1,446.79	1.9745	857.92	2,304.71	2,304.71
X5	14	5.06	0.51	4,575.49	8.17	3,548.21	8,123.70	8,123.70
X6								
X7	14	1.58	1.65	1,428.71	2.7995	1,216.38	2,645.09	2,645.09
X8	14	1.58	1.65	1,428.71	2.7995	1,216.38	2,645.09	2,645.09
X9	14	1.60	1.63	1,446.79	2.0631	896.42	2,343.21	2,343.21
X10	14	1.40	1.86	1,265.94	1.69	734.39	2,000.34	2,000.34
X11								
X12	14	1.60	1.63	1,446.79	2.0631	896.42	2,343.21	2,343.21
X13	14	5.06	0.51	4,575.49	6.38	2,770.81	7,346.29	7,346.29
X14								
X15	14	6.06	0.43	5,479.73	9.13	3,967.51	9,447.24	9,447.24
X16	14							
		28.54		25,807.19	40.72	17,692.49	43,499.68	43,499.68

MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	PESO MURO	AREA TRIB	PESO AZOTEA	TOTAL ENTREPISO	TOTAL
Y1	14	8.61	0.30	7,785.56	5.41	2,352.43	10,137.99	10,137.99
Y2	14							
Y3	14							
Y10	14							
Y4	14	8.61	0.30	7,785.56	8.78	3,815.34	11,600.90	11,600.90
Y5	14							
Y6	14							
Y6'	14							
Y7	14	8.61	0.30	7,785.56	5.41	2,352.43	10,137.99	10,137.99
Y8	14							
Y9	14							
Y11	14							
		25.83		23,356.68	19.61	8,520.20	31,876.88	31,876.88

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

**Figura 12** *Análisis de carga por muro planta baja*

Planta Baja										
Wmuro =	347.79	Kg/m <sup>2</sup>								
hmuro =	2.60	m								
Wentrepiso =	477.40	Kg/m <sup>2</sup>								
MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	PESO MURO	AREA TRIB	PESO AZOTEA	TOTAL ENTREPISO	PISO ANTERIOR	TOTAL	
X1	14	0.70	3.71	632.97	1.9708	940.86	1,573.83	2,304.71	3,878.55	
X2	14	1.40	1.86	1,265.94	1.69	805.76	2,071.70	1,996.08	4,067.78	
X3										
X4	14	0.70	3.71	632.97	1.9708	940.86	1,573.83	2,304.71	3,878.55	
X5	14	4.24	0.61	3,834.00	8.17	3,898.54	7,732.55	8,123.70	15,856.25	
X6										
X7	14	3.10	0.84	2,803.16	2.7995	1,336.48	4,139.64	2,645.09	6,784.74	
X8	14	3.09	0.84	2,794.12	2.7995	1,336.48	4,130.60	2,645.09	6,775.69	
X9	14	0.70	3.71	632.97	2.2177	1,058.73	1,691.70	2,343.21	4,034.91	
X10	14	1.40	1.86	1,265.94	1.69	808.62	2,074.56	2,000.34	4,074.90	
X11										
X12	14	0.70	3.71	632.97	2.2177	1,058.73	1,691.70	-	1,691.70	
				16.03	14,495.07	25.52	12,185.06	26,680.13	24,362.94	51,043.07
MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	PESO MURO	AREA TRIB	PESO AZOTEA	TOTAL ENTREPISO	PISO ANTERIOR	TOTAL	
Y1	14	8.61	0.30	7,785.56	8.97	4,279.94	12,065.50	10,137.99	22,203.48	
Y2										
Y3										
Y4	14	8.61	0.30	7,785.56	16.87	8,054.12	15,839.68	11,600.90	27,440.58	
Y5										
Y5'										
Y6										
Y7	14	8.61	0.30	7,785.56	8.97	4,279.94	12,065.50	10,137.99	22,203.48	
Y8										
Y9	14									
				25.83	23,356.68	34.80	16,614.00	39,970.68	31,876.88	71,847.55

### 2.3.4 Evaluación de la excentricidad torsional

**Tabla 6** *Evaluación de la excentricidad torsional planta alta*

Planta Alta			
			Bx = 7.00 m
hmuro =	2.60	m	By = 8.62 m <u>10%Bn</u>
			ex = - m 0.700

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

$$e_y = 0.025 \quad m \quad 0.862$$

Condición de Colapso

MURO	ESPESOR	LONGITUD	Y	H/L	FAE	FAE At	Y FAE At
X1	14	1.60	4.31	1.63	1.00	0.223	0.963
X2	14	1.40	4.31	1.86	1.00	0.196	0.845
X3	14						
X4	14	1.60	4.31	1.63	1.00	0.223	0.963
X5	14	5.06	1.80	0.51	0.84	0.592	1.066
X6	14						
X7	14	1.58	0.78	1.65	1.00	0.221	0.172
X8	14	1.58	0.78	1.65	1.00	0.221	0.172
X9	14	1.60	4.31	1.63	1.00	0.223	0.963
X10	14	1.40	4.31	1.86	1.00	0.196	0.845
X11	14						
X12	14	1.60	4.31	1.63	1.00	0.223	0.963
X13	14	5.06	0.25	0.51	0.84	0.592	0.148
X14	14						
X15	14	6.06	1.60	0.43	0.81	0.684	1.094
X16	14						
						28.54	3.595 0.168

MURO	ESPESOR	LONGITUD	X	H/L	FAE	FAE At	X FAE At
Y1	14	2.50	3.50	1.04	0.96	0.335	1.171
Y2	14	2.05	3.50	1.27	0.98	0.281	0.985
Y3	14	2.71	3.50	0.96	0.94	0.358	1.253

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

Y4	14	2.50	-	1.04	0.96	0.335	-
Y5	14	2.05	-	1.27	0.98	0.281	-
Y6	14	2.71	-	0.96	0.94	0.358	-
Y6'	14	1.35	-	1.93	1.00	0.189	-
Y7	14	2.50	3.50	1.04	0.96	0.335	1.171
Y8	14	2.05	3.50	1.27	0.98	0.281	0.985
Y9	14	2.71	3.50	0.96	0.94	0.358	1.253
Y10	14	1.35	3.50	1.93	1.00	0.189	0.661
Y11	14	1.35	3.50	1.93	1.00	0.189	0.661
		25.83				3.489 -	

**Tabla 7** Evaluación de la excentricidad torsional planta baja

Planta Baja							
hmuro =		2.60	m	Bx =	7.00	m	
				By =	8.62	m	<u>10%Bn</u>
				ex =	-	m	0.70
				ey =	0.040	m	0.86
MURO	ESPEJOR	LONGITUD	Y	H/L	FAE	FAE At	Y FAE At
X1	14	0.70	4.31	3.71	1.01	0.099	0.425
X2	14	1.40	4.31	1.86	1.00	0.196	0.845
X3	14						
X4	14	0.70	4.31	3.71	1.01	0.099	0.425

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

X5	14	4.24	1.80	0.61	0.87	0.514	0.926
X6	14						
X7	14	3.10	0.78	0.84	0.92	0.400	0.312
X8	14	3.09	0.78	0.84	0.92	0.399	0.311
X9	14	0.70	4.31	3.71	1.01	0.099	0.425
X10	14	1.40	4.31	1.86	1.00	0.196	0.845
X11	14						
X12	14	0.70	4.31	3.71	1.01	0.099	0.425
		16.03				2.100	1.549

MURO	ESPESOR	LONGITUD	X	H/L	FAE	FAE At	X FAE At
Y1	14	2.50	3.50	1.04	0.96	0.335	1.171
Y2	14	2.05	3.50	1.27	0.98	0.281	0.985
Y3	14	4.06	3.50	0.64	0.87	0.497	1.739
Y4	14	2.50	-	1.04	0.96	0.335	-
Y5	14	1.03	-	2.54	1.01	0.144	-
Y5'	14	1.03	-	2.54	1.01	0.144	-
Y6	14	4.06	-	0.64	0.87	0.497	-
Y7	14	2.50	3.50	1.04	0.96	0.335	1.171
Y8	14	2.05	3.50	1.27	0.98	0.281	0.985
Y9	14	4.06	3.50	0.64	0.87	0.497	1.739
		25.83				3.346	-

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

Los muros colindantes linealmente, se considerarán como uno solo. Para tomar en cuenta los efectos de rigidez del conjunto. En ambos casos la excentricidad calculada es menor la excentricidad máxima permitida del método, que es el 10% de la longitud de la edificación, paralela al análisis. De la misma forma se revisó la condición de servicio obteniéndose valores menores a la condición de colapso y por ende a la excentricidad máxima permitida del método.

### 2.3.5 Evaluación de la demanda sísmica por nivel

Para evaluar la fuerza sísmica por nivel se empleó:

$$P_n = W_n (h'_n) \left[ \frac{\sum W_n}{\sum W_n (h'_n)} \right] (a/Q'R)$$

Con:

$$a/Q'R = 0.632$$

**Tabla 8** Demanda sísmica en la dirección X

DIRECCION X

NIVEL	$\Delta h$	$h'_n$	$W_n$	$W_n h'_n$	$P_n$	$V_n$
1	2.60	2.60	60,592	157,538	25,010	81,579
2	2.60	5.20	68,524	356,326	56,569	56,569
			129,116	513,864	81,579	

**Tabla 9** Demanda sísmica en la dirección Y

DIRECCION Y

NIVEL	$\Delta h$	$h'_n$	$W_n$	$W_n h'_n$	$P_n$	$V_n$
1	2.60	2.60	60,592	157,538	25,010	81,579
2	2.60	5.20	68,524	356,326	56,569	56,569
			129,116	513,864	81,579	

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

### 2.3.6 Evaluación de la capacidad y demanda del entrepiso y muros

**Figura 13** Evaluación de la capacidad y demanda de planta alta

Planta alta							
MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	f	VmR (1)	VmR (2)	VR
X1	14	1.60	1.63	1.00	2,051.99	4,704.00	2,051.99
X2	14	1.40	1.86	1.00	1,791.18	4,116.00	1,791.18
X3							
X4	14	1.60	1.63	1.00	2,051.99	4,704.00	2,051.99
X5	14	5.06	0.51	1.30	8,689.89	19,396.65	8,689.89
X6							
X7	14	1.58	1.65	1.00	2,103.87	4,645.20	2,103.87
X8	14	1.58	1.65	1.00	2,103.87	4,645.20	2,103.87
X9	14	1.60	1.63	1.00	2,060.07	4,704.00	2,060.07
X10	14	1.40	1.86	1.00	1,792.07	4,116.00	1,792.07
X11							
X12	14	1.60	1.63	1.00	2,060.07	4,704.00	2,060.07
X13	14	5.06	0.51	1.30	8,477.03	19,396.65	8,477.03
X14							
X15	14	6.06	0.43	1.36	10,749.93	24,174.15	10,749.93
X16	14						
		28.54					
						<b>VR =</b>	<b>43,931.97</b>
						<b>Vu =</b>	<b>62,225.38 NP</b>
MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	f	VmR (1)	VmR (2)	VR
Y1	14	8.61	0.30	1.44	15,176.70	36,356.78	15,176.70
Y2	14						
Y3	14						
Y10	14						
Y4	14	8.61	0.30	1.44	15,617.94	36,356.78	15,617.94
Y5	14						
Y6	14						
Y6'	14						
Y7	14	8.61	0.30	1.44	15,176.70	36,356.78	15,176.70
Y8	14						
Y9	14						
Y11	14						
		25.83					
						<b>VR =</b>	<b>45,971.35</b>
						<b>Vu =</b>	<b>62,225.38 NP</b>

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

**Figura 14** Evaluación de la capacidad y demanda de planta baja

Planta Baja							
MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	f	VmR (1)	VmR (2)	VR
X1	14	0.70	3.71	1.00	1,500.49	2,058.00	1,500.49
X2	14	1.40	1.86	1.00	2,226.23	4,116.00	2,226.23
X3							
X4	14	0.70	3.71	1.00	1,500.49	2,058.00	1,500.49
X5	14	4.24	0.61	1.24	9,294.48	15,479.10	9,294.48
X6							
X7	14	3.10	0.84	1.10	4,912.67	10,032.75	4,912.67
X8	14	3.09	0.84	1.10	4,892.24	9,984.98	4,892.24
X9	14	0.70	3.71	1.00	1,533.33	2,058.00	1,533.33
X10	14	1.40	1.86	1.00	2,227.73	4,116.00	2,227.73
X11							
X12	14	0.70	3.71	1.00	1,041.26	2,058.00	1,041.26
		16.03			<b>VR = 29,128.94</b>		
						<b>Vu = 89,736.40 NP</b>	
MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	f	VmR (1)	VmR (2)	VR
Y1	14	8.61	0.30	1.44	18,815.85	36,356.78	18,815.85
Y2							
Y3							
Y4	14	8.61	0.30	1.44	20,395.44	36,356.78	20,395.44
Y5'							
Y6							
Y7	14	8.61	0.30	1.44	18,815.85	36,356.78	18,815.85
Y8							
Y9	14						
		25.83			<b>VR = 58,027.14</b>		
						<b>Vu = 89,736.40 NP</b>	

Evidentemente con este nivel de demanda sísmica, resultado de aplicar los espectros sísmicos de aceleración constante que sugiere el método, la estructura no es capaz de soportar la carga impuesta. Sin embargo, el manual de CFE (CFE/INEEL, 2015, pág. 37), observa que en el caso de requerirse espectros mas racionales se podrán emplear espectros regionales o espectros específicos de sitio, siempre que se construyan como se indica el mismo Manual y que es posible generarlos con el programa PRODISIS.

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

### 2.3.7 Evaluación de la demanda y capacidad usando Espectros Sísmicos Regionales de Diseño CFE (2015)

Considerando, que se cumplen la condición de tener información geotécnica suficiente para poder clasificar el terreno de cimentación, como lo indica el Manual de CFE (CFE/INEEL, 2015, pág. 37). Asumiremos conocer el tipo de terreno de la zona donde se desplantará considerándolo terreno firme tipo I, con lo que el espectro tendrá las siguientes características de la meseta:

Zona sísmica D

$$a_0^r = 299.43 \text{ cm/s}^2$$

$$F_{\text{sit}} = 1.00$$

$$F_{\text{res}} = 2.83$$

$$c = F_{\text{sit}} F_{\text{res}} a_0^r$$

$$c = (1.00)(2.83) (299.43) = 847.36 \text{ cm/s}^2$$

Los parámetros  $a_0^r$ ,  $F_{\text{sit}}$  y  $F_{\text{res}}$  son leídos del PRODISIS (INEEL-CFE, 2015), una vez seleccionado la localidad de Tapachula, en la pestaña de Espectro de Diseño.

**Figura 15** *Parametros de PRODISIS del caso en estudio*

The image shows a software interface with two main panels. The left panel, titled 'Nueva ubicación', has tabs for 'Coordenadas' and 'Localidad'. Under 'Localidad', there are dropdown menus for 'Estado' (Chiapas) and 'Municipio' (Tapachula). The right panel, titled 'Espectros Regionales', displays the following parameters:  $a_0^r = 299.43 \text{ cm/s}^2$ ,  $c^r = 848.22 \text{ cm/s}^2$ , 'Zona sísmica: D', 'Importancia estructural' set to 'B1', 'Caracterización del terreno de cimentación' with input fields for  $v_s$ ,  $H_s$ , and  $T_s$  (0.00 s), 'Estratigrafía' checkbox, and 'Tipo de suelo' set to 'I'. Below this, 'Parámetros espectrales para estructuras A2 y B1' are listed:  $F_{\text{sit}} = 1.00$ ,  $F_{\text{Res}} = 2.83$ ,  $a_0 = 299.43 \text{ cm/s}^2$ , and  $c = 848.22 \text{ cm/s}^2$ .

No obstante, los coeficientes que modifican la respuesta en el rango inelástico se tomarán de los espectros constantes,  $Q' = 2$ ,  $R = 2$  y  $\rho = 1$ . Por lo que el coeficiente sísmico sería:

$$C_s = a/Q'R = 0.216$$

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

**Figura 16** Demanda sísmica por nivel

### DIRECCION X

NIVEL	$\Delta h$	h'n	Wn	Wn h'n	Pn	Vn
1	2.60	2.60	60,592	157,538	8,548	27,883
2	2.60	5.20	68,524	356,326	19,334	19,334
				<b>129,116</b>	<b>513,864</b>	<b>27,883</b>

### DIRECCION Y

NIVEL	$\Delta h$	h'n	Wn	Wn h'n	Pn	Vn
1	2.60	2.60	60,592	157,538	8,548	27,883
2	2.60	5.20	68,524	356,326	19,334	19,334
				<b>129,116</b>	<b>513,864</b>	<b>27,883</b>

**Figura 17** Capacidad resistente de muros de planta alta en ambas direcciones

Planta alta							
MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	f	VmR (1)	VmR (2)	VR
X1	14	1.60	1.63	1.00	2,051.99	4,704.00	2,051.99
X2	14	1.40	1.86	1.00	1,791.18	4,116.00	1,791.18
X3							
X4	14	1.60	1.63	1.00	2,051.99	4,704.00	2,051.99
X5	14	5.06	0.51	1.30	8,689.89	19,396.65	8,689.89
X6							
X7	14	1.58	1.65	1.00	2,103.87	4,645.20	2,103.87
X8	14	1.58	1.65	1.00	2,103.87	4,645.20	2,103.87
X9	14	1.60	1.63	1.00	2,060.07	4,704.00	2,060.07
X10	14	1.40	1.86	1.00	1,792.07	4,116.00	1,792.07
X11							
X12	14	1.60	1.63	1.00	2,060.07	4,704.00	2,060.07
X13	14	5.06	0.51	1.30	8,477.03	19,396.65	8,477.03
X14							
X15	14	6.06	0.43	1.36	10,749.93	24,174.15	10,749.93
X16	14						
		28.54				<b>VR = 43,931.97</b>	
						<b>Vu = 21,267.85</b>	<b>Ok</b>

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	f	VmR (1)	VmR (2)	VR
Y1	14	8.61	0.30	1.44	15,176.70	36,356.78	15,176.70
Y2	14						
Y3	14						
Y10	14						
Y4	14	8.61	0.30	1.44	15,617.94	36,356.78	15,617.94
Y5	14						
Y6	14						
Y6'	14						
Y7	14	8.61	0.30	1.44	15,176.70	36,356.78	15,176.70
Y8	14						
Y9	14						
Y11	14						
		25.83					VR = 45,971.35
							Vu = 21,267.85 Ok

Figura 18 Capacidad resistente de muros de planta baja en ambas direcciones

Planta Baja							
MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	f	VmR (1)	VmR (2)	VR
X1	14	0.70	3.71	1.00	1,500.49	2,058.00	1,500.49
X2	14	1.40	1.86	1.00	2,226.23	4,116.00	2,226.23
X3							
X4	14	0.70	3.71	1.00	1,500.49	2,058.00	1,500.49
X5	14	4.24	0.61	1.24	9,294.48	15,479.10	9,294.48
X6							
X7	14	3.10	0.84	1.10	4,912.67	10,032.75	4,912.67
X8	14	3.09	0.84	1.10	4,892.24	9,984.98	4,892.24
X9	14	0.70	3.71	1.00	1,533.33	2,058.00	1,533.33
X10	14	1.40	1.86	1.00	2,227.73	4,116.00	2,227.73
X11							
X12	14	0.70	3.71	1.00	1,041.26	2,058.00	1,041.26
		16.03					VR = 29,128.94
							Vu = 30,670.78 NP

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODOS APROXIMADOS.

MURO	ESPESOR	LONGITUD	H/L	f	VmR (1)	VmR (2)	VR
Y1	14	8.61	0.30	1.44	18,815.85	36,356.78	18,815.85
Y2							
Y3							
Y4	14	8.61	0.30	1.44	20,395.44	36,356.78	20,395.44
Y5							
Y5'							
Y6							
Y7	14	8.61	0.30	1.44	18,815.85	36,356.78	18,815.85
Y8							
Y9	14						
		25.83					
						<b>VR =</b>	<b>58,027.14</b>
						<b>Vu =</b>	<b>30,670.78 Ok</b>

Con este coeficiente sísmico regional, podemos observar que los resultados obtenidos por el método simplificado son más consistentes con lo que esperábamos en la planta baja, es decir que la falla apareciera para un coeficiente mayor a  $C_s > 0.15$  en la dirección X, como lo predijo el análisis Nivel 2. No así en la dirección Y, cuyo  $C_s$  requiere ser mayor  $C_s > 0.36$ , lo cual ocurrió al usar los parámetros de los espectros de aceleración constante.

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

### **3.- Evaluación de la capacidad sísmica de la estructura por método estático.**

Como antes se comentó, el método simplificado de diseño sísmico es un método que ha sido descartado desde las NTC CDMX (2017), pero aún sigue siendo considerado como útil en revisiones rápidas. No obstante, el Manual de CFE aun lo sigue considerando bajo criterios muy estrictos de aplicación y coeficientes muy castigados (conservadores) que pudieran ser re-evaluados en sus alcances para dictaminar la vulnerabilidad de una estructura con cierto grado de seguridad que permita la revisión de edificaciones populares con fines de autorización de licencias y permisos.

El método estático aun forma parte de los métodos aceptables en el análisis de las edificaciones, pero en el caso de las NTC CDMX (2020), no se puede usar para edificaciones del grupo A y restringe su uso con las siguientes condiciones:

El método estático solo aplica para:

- Estructuras con sistema de piso tipo diafragma rígido
- Estructuras sensiblemente simétricas
- Estructuras de baja altura (hasta 20 m estructuras poco irregulares)
- Estructuras regulares y poco irregulares

El método de análisis estático consta esencialmente de los siguientes pasos:

- 1) Calcular fuerzas laterales aplicadas en los centros de masa de los pisos que produzcan efectos equivalentes a la acción sísmica.
- 2) Distribuir las fuerzas laterales del paso 1 y los momentos torsionantes asociados a estas fuerzas entre los sistemas resistentes a carga lateral que conforman la estructura, como son marcos, muros o combinaciones de éstos.
- 3) Analizar cada sistema resistente ante las cargas laterales que le correspondan.

(CFE/INEEL, 2015)

Cabe mencionar que para el método estático se deben tomar en cuenta los efectos bidireccionales, es decir, los dos componentes horizontales del movimiento sísmico se deben combinar, tomando en la dirección en que se analice la estructura el 100% de los efectos que

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

actúan en esa dirección y 30% de los efectos que actúan ortogonalmente a él, con los signos que resulten más desfavorables para el diseño de cada elemento estructural. (CDMX, 2017)

### 3.1.- Evaluación de las fuerzas laterales sobre la estructura

Como ya se vio antes, asumiremos que la edificación está desplantada sobre terreno firme tipo I, en Tapachula:

Zona sísmica D

$a_{or} = 299.43 \text{ cm/s}^2$

$F_{sit} = 1.00$

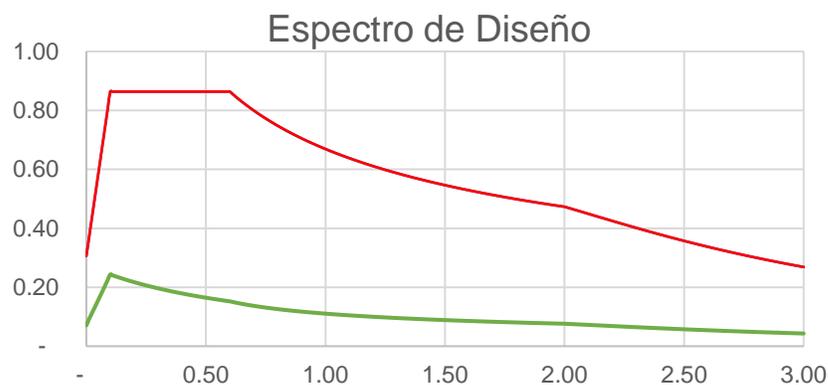
$F_{res} = 2.83$

$c = F_{sit} F_{res} a_{or}$

$c = (1.00)(2.83)(299.43) = 847.36 \text{ cm/s}^2$

Los parámetros  $a_{or}$ ,  $F_{sit}$  y  $F_{res}$  son leídos del PRODISIS (INEEL-CFE, 2015), una vez seleccionado la localidad de Tapachula, en la pestaña de Espectro de Diseño. De los factores que modifican la respuesta estructural por efecto inelástico el valor de  $Q'$  se calculó a partir de la consideración de la ductilidad estructural, es decir  $Q=2$ , para estructuras con baja ductilidad;  $R$  es la sobre resistencia evaluada a partir de  $R_o=2.5$  correspondiente a muros de piezas macizas y marcos de concreto, y redundancia o hiperestaticidad  $\rho = 1.25$ . Por facilidad se consideró el coeficiente por regularidad  $\alpha = 1.0$ , despreciando la irregularidad. Apoyados en el programa PRODISIS se obtuvo el espectro de diseño considerando efectos inelásticos:

**Figura 19** Espectro de diseño obtenido del programa PRODISIS



## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

Cuya meseta espectral inelástica es:

$$C_s = a/Q'R\rho\alpha = 0.243$$

**Figura 20** Demanda sísmica por nivel

### DIRECCION X

$P_n = W_n(h'n) [\sum W_n / \sum W_n(h'n)] (a/Q'R)$						
NIVEL	$\Delta h$	$h'n$	$W_n$	$W_n h'n$	$P_n$	$V_n$
PB	2.60	2.60	60,592	157,538	9,631	31,415
PA	2.60	5.20	68,524	356,326	21,784	21,784
			<b>129,116</b>	<b>513,864</b>	<b>31,415</b>	

### DIRECCION Y

NIVEL	$\Delta h$	$h'n$	$W_n$	$W_n h'n$	$P_n$	$V_n$
PB	2.60	2.60	60,592	157,538	9,631	31,415
PA	2.60	5.20	68,524	356,326	21,784	21,784
			<b>129,116</b>	<b>513,864</b>	<b>31,415</b>	

El método aun nos permite reducir las fuerzas en entrepiso, al considerar el período estructural, para ello recurriremos a la fórmula de Schwartz (CFE/INEEL, 2015, pág. 81).

$$T_{e0} = \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \left[ \frac{\sum_{n=1}^{N_e} W_n X_n^2}{\sum_{n=1}^{N_e} P_n X_n} \right]^{1/2}$$

Para ello debemos estimar los desplazamientos, y a su vez, las rigideces de los entrepisos para poder determinarlos.

La rigidez unitaria de los muros se estimó de acuerdo con siguiente modelo:

$$K = 1/\Delta$$

# EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

Tal que:

$$\Delta = \frac{h^3}{3EI} + \frac{h}{GA}$$

**Figura 21** Cálculo de la rigidez de muros de planta alta

Planta alta							
Em = 9,000.00 Kg/cm <sup>2</sup>							
Gm = 1,800.00 Kg/cm <sup>2</sup>							
f'm = 15.00 Kg/cm <sup>2</sup>							
RIGIDEZ DE ENTREPISO							
MURO	I	1/K	K	MURO	I	1/K	K
X1	4.779.E+06	2.007.E-04	4,982	Y1	7.447.E+08	1.286.E-05	77,777
X2	3.201.E+06	2.770.E-04	3,610	Y2			
X3				Y3			
X4	4.779.E+06	2.007.E-04	4,982	Y10			
X5	1.511.E+08	2.470.E-05	40,491	Y4	7.447.E+08	1.286.E-05	77,777
X6				Y5			
X7	4.602.E+06	2.068.E-04	4,836	Y6			
X8	4.602.E+06	2.068.E-04	4,836	Y6'			
X9	4.779.E+06	2.007.E-04	4,982	Y7	7.447.E+08	1.286.E-05	77,777
X10	3.201.E+06	2.770.E-04	3,610	Y8			
X11				Y9			
X12	4.779.E+06	2.007.E-04	4,982	Y11			
X13	1.511.E+08	2.470.E-05	40,491				233,331
X14							
X15	2.596.E+08	1.953.E-05	51,196				
X16							
			168,999				

# EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

**Figura 22** Cálculo de rigidez de muros de planta baja

## Planta Baja

RIGIDEZ DE ENTREPISO							
MURO	I	1/K	K	MURO	I	1/K	K
X1	4.002.E+05	1.774.E-03	564	Y1	7.45.E+08	1.286.E-05	77,777
X2	3.201.E+06	2.770.E-04	3,610	Y2			
X3				Y3			
X4	4.002.E+05	1.774.E-03	564	Y4	7.45.E+08	1.286.E-05	77,777
X5	8.893.E+07	3.165.E-05	31,592	Y5			
X6				Y5'			
X7	3.476.E+07	5.201.E-05	19,226	Y6			
X8	3.442.E+07	5.230.E-05	19,120	Y7	7.45.E+08	1.286.E-05	77,777
X9	4.002.E+05	1.774.E-03	564	Y8			
X10	3.201.E+06	2.770.E-04	3,610	Y9			
X11							
X12	4.002.E+05	1.774.E-03	564				
			79,412				233,331

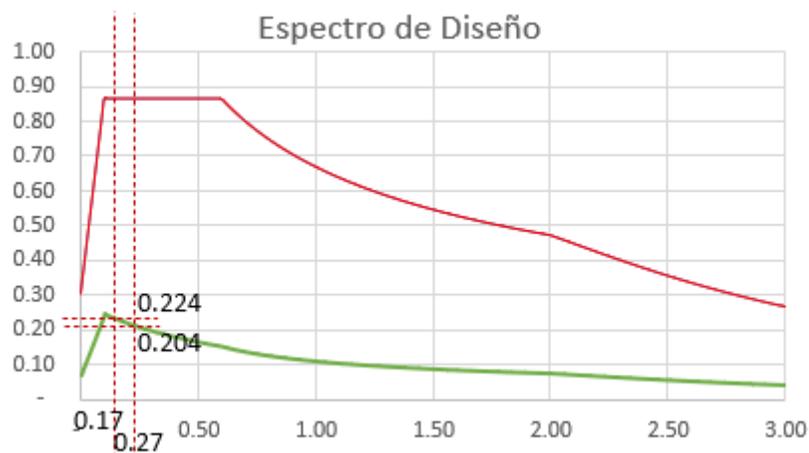
Con estas rigideces por nivel, podemos calcular los desplazamientos por nivel y aplicar la fórmula de Schwartz para estimar el periodo fundamental de la estructura.

DIRECCION X				Te =	0.270 s
				a/(Q'Rpα) =	0.204
NIVEL	Kn	ΔXn	Xn	WnX2n	PnXn
PB	79,412	0.396	0.396	9,482.065	3,809.914
PA	168,999	0.129	0.524	18,850.138	11,425.270
				<b>28,332</b>	<b>15,235</b>
DIRECCION Y				Te =	0.170 s
				a/(Q'Rpα) =	0.224
NIVEL	Kn	ΔXn	Xn	WnX2n	PnXn
PB	233,331	0.135	0.135	1,098.331	1,296.673
PA	233,331	0.093	0.228	3,562.015	4,966.575
				<b>4,660</b>	<b>6,263</b>

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

Como podemos notar, cada dirección presenta un periodo de vibrar distinto ( $T_e$ ), por lo que las reducciones sísmicas que se obtienen son diferentes.

**Figura 23** Espectro de diseño con periodos de vibrar distintos



Con el nuevo coeficiente, evaluamos nuevamente las fuerzas sísmicas por nivel, usando la misma fórmula:  $P_n = W_n(h'_n) [\sum W_n / \sum W_n(h'_n)] (a/Q'R)$

**Figura 24** Fuerzas sísmicas por nivel

### DIRECCION X

NIVEL	$\Delta h$	$h'_n$	$W_n$	$W_n h'_n$	$P'_n$	$V'_n$
PB	2.60	2.60	60,592	157,538	8,082	26,362
PA	2.60	5.20	68,524	356,326	18,280	18,280
			<b>129,116</b>	<b>513,864</b>	<b>VB =</b>	<b>26,362</b>

### DIRECCION Y

NIVEL	$\Delta h$	$h'_n$	$W_n$	$W_n h'_n$	$P'_n$	$V'_n$
PB	2.60	2.60	60,592	157,538	8,886	28,984
PA	2.60	5.20	68,524	356,326	20,098	20,098
			<b>129,116</b>	<b>513,864</b>	<b>VB =</b>	<b>28,984</b>

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

### 3.2.- Determinación de la Resistencia por nivel

Como primer paso, debemos revisar la resistencia al corte de cada entrepiso, algo equivalente a lo que se realiza en el método simplificado:

Tal que: 
$$VR_i \geq 0.8 Vu_i$$

Siendo 
$$VR_i = FR ( 0.5 v'_m + 0.3 \sigma_i + \eta_{ph} f_{yh} ) \Sigma At$$

$\sigma_i$  – es el esfuerzo normal promedio sobre los muros del entrepiso, de tal forma que  $\sigma_i \leq 3.33 v'_m$  (CDMX, 2017, pág. 3.1.8.1)

Como se trata de mampostería confinada el refuerzo horizontal se desprecia, quedando:

$$VR_i = FR ( 0.5 v'_m + 0.3 \sigma_i ) \Sigma At$$

**Figura 25** Planta Alta, Dirección X

MURO	ESPEJOR	LONGITUD	PESO MURO	AREA TRIB	PESO AZOTEA	TOTAL ENTREPISO
X1	14	1.60	1,315.27	1.9745	779.93	2,095.19
X2	14	1.40	1,150.86	1.68	663.76	1,814.62
X3						
X4	14	1.60	1,315.27	1.9745	779.93	2,095.19
X5	14	5.06	4,159.53	8.17	3,225.65	7,385.18
X6						
X7	14	1.58	1,298.83	2.7995	1,105.80	2,404.63
X8	14	1.58	1,298.83	2.7995	1,105.80	2,404.63
X9	14	1.60	1,315.27	2.0631	814.92	2,130.19
X10	14	1.40	1,150.86	1.69	667.63	1,818.49
X11						
X12	14	1.60	1,315.27	2.0631	814.92	2,130.19
X13	14	5.06	4,159.53	6.38	2,518.92	6,678.45
X14						
X15	14	6.06	4,981.57	9.13	3,606.82	8,588.40
X16	14					
		28.54	23,461.08	40.72	16,084.08	<b>39,545.16</b>

$$\sigma_{2x} = 39,545.16 / [14(28.54)100] = 0.99 \text{ kg/cm}^2$$

$$v'_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$VR_{2x} = 0.70 [ 0.5 (2.0) + 0.3 (0.99) ] [ 28.54(100)14 ] = 36,276 \text{ kg}$$

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

Del cálculo de la fuerza sísmica por nivel, en la dirección X, tenemos:

$$Vu_{2x} = 18,280 (0.80) = 14,624 \text{ kg} < VR_{2x}$$

Se cumple la resistencia en el entrepiso.

**Figura 26** *Planta Alta, Dirección Y*

LONGITUD	PESO MURO	AREA TRIB	PESO AZOTEA	TOTAL ENTREPISO
8.61	7,077.78	5.41	2,138.57	9,216.35
8.61	7,077.78	8.78	3,468.50	10,546.28
8.61	7,077.78	5.41	2,138.57	9,216.35
25.83	21,233.34	19.61	7,745.63	<b>28,978.98</b>

$$\sigma_{2y} = 28,978.98 / [14(25.83)100] = 0.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$v'm = 2.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$VR_{2y} = 0.70 [ 0.5 (2.0) + 0.3 (0.80) ] [ 25.83 (100)14 ] = 31,388 \text{ kg}$$

Del cálculo de la fuerza sísmica por nivel, en la dirección Y, tenemos:

$$Vu_{2y} = 20,098 (0.80) = 16,078 \text{ kg} < VR_{2y}$$

Se cumple la resistencia en el entrepiso.

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

**Figura 27** Planta Baja, Dirección X

MURO	ESPEJOR	LONGITUD	PESO MURO	AREA TRIB	PESO AZOTEA	TOTAL ENTREPISO	PISO ANTERIOR	TOTAL
X1	14	0.70	575.43	1.9708	855.33	1,430.76	2,095.19	3,525.95
X2	14	1.40	1,150.86	1.69	732.51	1,883.36	1,814.62	3,697.98
X3								
X4	14	0.70	575.43	1.9708	855.33	1,430.76	2,095.19	3,525.95
X5	14	4.24	3,485.46	8.17	3,544.13	7,029.59	7,385.18	14,414.77
X6								
X7	14	3.10	2,548.33	2.7995	1,214.98	3,763.31	2,404.63	6,167.94
X8	14	3.09	2,540.11	2.7995	1,214.98	3,755.09	2,404.63	6,159.72
X9	14	0.70	575.43	2.2177	962.48	1,537.91	2,130.19	3,668.10
X10	14	1.40	1,150.86	1.69	735.11	1,885.97	1,818.49	3,704.46
X11								
X12	14	0.70	575.43	2.2177	962.48	1,537.91	-	1,537.91
		16.03	13,177.33	25.52	11,077.33	<b>24,254.66</b>	22,148.12	<b>46,402.79</b>

$$\sigma_{1x} = 46,402.79 / [14(16.03)100] = 2.07 \text{ kg/cm}^2 < 3.33 \text{ v}^{\circ}\text{m}$$

$$\text{v}^{\circ}\text{m} = 2.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{VR}_{1x} = 0.70 [ 0.5 (2.0) + 0.3 (2.07) ] [ 16.03(100)14 ] = 25,465 \text{ kg}$$

Del cálculo de la fuerza sísmica por nivel, en la dirección X, tenemos:

$$\text{Vu}_{1x} = 26,362 (0.80) = 21,090 \text{ kg} < \text{VR}_{1x}$$

Se cumple (ya casi en el límite) con la resistencia en el entrepiso.

**Figura 28** Planta Baja, Dirección Y

MURO	ESPEJOR	LONGITUD	PESO MURO	AREA TRIB	PESO AZOTEA	TOTAL ENTREPISO	PISO ANTERIOR	TOTAL
Y1	14	8.61	7,077.78	8.97	3,890.85	10,968.64	9,216.35	20,184.99
Y2								
Y3								
Y4	14	8.61	7,077.78	16.87	7,321.93	14,399.71	10,546.28	24,945.99
Y5								
Y5'								
Y6								
Y7	14	8.61	7,077.78	8.97	3,890.85	10,968.64	9,216.35	20,184.99
Y8								
Y9	14							
		25.83	21,233.34	34.80	15,103.63	36,336.98	28,978.98	<b>65,315.96</b>

$$\sigma_{1y} = 65,315.96 / [14(25.83)100] = 1.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{v}^{\circ}\text{m} = 2.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{VR}_{1y} = 0.70 [ 0.5 (2.0) + 0.3 (1.80) ] [ 25.83 (100)14 ] = 38,982 \text{ kg}$$

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

Del cálculo de la fuerza sísmica por nivel, en la dirección Y, tenemos:

$$Vu_{1y} = 28,984 (0.80) = 23,187 \text{ kg} < VR_{1y}$$

Se cumple la resistencia en el entrepiso.

### 3.3.- Determinación de la Resistencia por muro

Como antes vimos al inicio de este capítulo, el método de análisis estático consta esencialmente de los siguientes pasos:

Calcular fuerzas laterales aplicadas en los centros de masa de los pisos que produzcan efectos equivalentes a la acción sísmica. Lo cual hicimos al determinar las fuerzas sísmicas por nivel de acuerdo al espectro correspondiente y en cada dirección.

Ahora nos toca distribuir las fuerzas laterales del paso 1 y los momentos torsionantes asociados a estas fuerzas entre los sistemas resistentes a carga lateral que conforman la estructura, como son marcos, muros o combinaciones de éstos.

Para este efecto se calcularon las excentricidades teóricas y el momento torsor de acuerdo con las rigideces y sus centroides:

$$e_1 = e_s + e_a$$

$$e_2 = 0.5 e_s - e_a$$

$$e_a = 0.05 b$$

**Figura 29** Excentricidades

N	XG	XT	esx	by	ea	e1	e2
PA	2.65	3.50	0.85	8.64	0.43	1.28	0.41
	YG	YT	esy	bx	ea	e1	e2
	3.27	4.24	0.97	7.00	0.35	1.32	0.62

N	XG	XT	esx	by	ea	e1	e2
PB	2.46	3.50	1.04	8.64	0.43	1.47	0.60
	YG	YT	esy	bx	ea	e1	e2
	3.01	5.41	2.40	7.00	0.35	2.75	2.05

## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

La capacidad por muro la evaluamos en la sección 2.3.6 Evaluación de la capacidad y demanda del entrepiso y muros, del capítulo 2.

Como podemos ver en el Anexo B, varios muros de la planta baja en la dirección B no cumplen con la resistencia requerida, aun cuando de forma global parecen cumplir.

Regresando al modelo global, en la revisión de los entrepisos notamos que la resistencia en la dirección X de la planta baja, se encontraba casi en el límite de la demanda. Las NTC M (2020), comentan que para no incurrir en fallos de percepción a la hora de realizar esta evaluación se eliminan de la contribución de resistencia a muros con longitud menor o igual a 1.0 m.

Pudiendo quedar de la siguiente forma dicha revisión:

**Figura 30** Planta Baja, Dirección X

MURO	ESPESOR	LONGITUD	PESO MURO	AREA TRIB	PESO AZOTEA	TOTAL ENTREPISO	PISO ANTERIOR	TOTAL
X1	14	0.70	575.43	1.9708	855.33	1,430.76	2,095.19	3,525.95
X2	14	1.40	1,150.86	1.69	732.51	1,883.36	1,814.62	3,697.98
X3								
X4	14	0.70	575.43	1.9708	855.33	1,430.76	2,095.19	3,525.95
X5	14	4.24	3,485.46	8.17	3,544.13	7,029.59	7,385.18	14,414.77
X6								
X7	14	3.10	2,548.33	2.7995	1,214.98	3,763.31	2,404.63	6,167.94
X8	14	3.09	2,540.11	2.7995	1,214.98	3,755.09	2,404.63	6,159.72
X9	14	0.70	575.43	2.2177	962.48	1,537.91	2,130.19	3,668.10
X10	14	1.40	1,150.86	1.69	735.11	1,885.97	1,818.49	3,704.46
X11								
X12	14	0.70	575.43	2.2177	962.48	1,537.91	-	1,537.91
		16.03	13,177.33	25.52	11,077.33	<b>24,254.66</b>	22,148.12	<b>46,402.79</b>

$$\sigma_{1x} = 46,402.79 / [14(16.03)100] = 2.07 \text{ kg/cm}^2 < 3.33 \text{ v}^{\circ}\text{m}$$

$$\text{v}^{\circ}\text{m} = 2.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{VR}_{1x} = 0.70 [ 0.5 (2.0) + 0.3 (2.07) ] [ (16.03 - 0.7\{4\}) (100)14 ] = 20,969 \text{ kg}$$

Del cálculo de la fuerza sísmica por nivel, en la dirección X, tenemos:

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA POR MÉTODO ESTÁTICO.

$$Vu_{1x} = 26,362 (0.80) = 21,090 \text{ kg} > VR_{1x}$$

La Dirección X, de la Planta Baja, falla por cortante.

## CONCLUSIONES

**4.- Conclusiones**

Con la finalidad de poder sacar conclusiones, se distribuyó la fuerza sísmica por nivel obtenida en el método simplificado y se comparó con los resultados obtenidos en el método estático, obteniéndose lo siguiente:

**Figura 31** *Planta Alta, Dirección X*

MURO	LONGITUD	VuMe	Estatus	VuMs	Fefic
X1	1.60	1,021	Ok	627	0.61
X2	1.40	740	Ok	454	0.61
X3				-	
X4	1.60	1,021	Ok	627	0.61
X5	5.06	7,294	Ok	5,096	0.70
X6				-	
X7	1.58	823	Ok	609	0.74
X8	1.58	823	Ok	609	0.74
X9	1.60	707	Ok	627	0.89
X10	1.40	513	Ok	454	0.89
X11				-	
X12	1.60	707	Ok	627	0.89
X13	5.06	6,512	Ok	5,096	0.78
X14				-	
X15	6.06	7,913	Ok	6,443	0.81
X16					

**Figura 32** *Planta Alta, Dirección Y*

MURO	LONGITUD	VuMe	Estatus	VuMs	Fefic
Y1	8.61	8,526	Ok	7,089	0.83
Y2					
Y3					
Y10					
Y4	8.61	9,456	Ok	7,089	0.75
Y5					
Y6					
Y6'					
Y7	8.61	12,326	Ok	7,089	0.58
Y8					
Y9					
Y11					

## CONCLUSIONES

Nótese que los resultados obtenidos por el método simplificado para una distribución de cargas por muro son en promedio el 75% de los obtenidos por el método estático, especialmente en esta edificación de características irregulares en segunda planta.

**Figura 33** *Planta Baja, Dirección X*

MURO	LONGITUD	VuMe	Estatus	VuMs	Fefic
X1	0.70	474	Ok	218	0.46
X2	1.40	3,037	Np	1,393	0.46
X3				-	
X4	0.70	474	Ok	218	0.46
X5	4.24	18,255	Np	12,194	0.67
X6				-	
X7	3.10	10,651	Np	7,421	0.70
X8	3.09	10,592	Np	7,380	0.70
X9	0.70	774	Ok	218	0.28
X10	1.40	4,956	Np	1,393	0.28
X11				-	
X12	0.70	774	Ok	237	0.31

**Figura 34** *Planta Baja, Dirección Y*

MURO	LONGITUD	VuMe	Estatus	VuMs	Fefic
Y1	8.61	22,847	Np	10,224	0.45
Y2					
Y3					
Y4	8.61	14,148	Ok	10,224	0.72
Y5					
Y5'					
Y6					
Y7	8.61	22,847	Np	10,224	0.45
Y8					
Y9					

Nótese que en la planta baja de una estructura de dos niveles la eficiencia del método simplificado es de menos del 50%.

Como hemos podido notar, tanto la evaluación de la regularidad, mediante los puntos de revisión de la regularidad de CFE (2015), como la evaluación de la vulnerabilidad de la

## CONCLUSIONES

UAM, y el método simplificado CFE (2015) nos dan idea de que la primera planta tendrá problemas debido a su configuración y elementos de resistencia.

No obstante, las acciones sobre cada muro para su revisión particularizada determinadas por el método simplificado distan mucho de las obtenidas por el método estático. Lo anterior se debe particularmente a que en dicho método no se consideran los cortes por torsión ni el efecto bidireccional (Revisión y Actualización del Método Simplificado de Análisis de Estructuras de Mampostería de los Reglamentos de Diseño Sísmico de México, 2010).

Una mayor cantidad de ejemplos nos podría ayudar a establecer el grado de aproximación en edificaciones regulares y la posibilidad de ser considerada a nivel de diseño.

### Conclusión

Los métodos UAM y SIMPLIFICADO, son útiles a nivel de análisis para evaluar la vulnerabilidad de una estructura, incluso de naturaleza irregular. No obstante, no son útiles a nivel de diseño ya que el resultado de las acciones sobre cada elemento estructural, en edificaciones de vivienda típicas, de dos niveles y de mampostería, resulta en aproximaciones por debajo del 50% que los evidenciados por el método estático.

Los factores correctivos por irregularidad que van de 0.9 a 0.7, no lograrían solventar la aproximación obtenida por el método, ya que como se menciona en el Artículo de la Revista de Ingeniería Sísmica No. 82 (Tena Colunga, Cano Licona, López Blancas, & Pérez Osornio, 2010), el método es aplicable a estructuras simétricas y abundaría con el término regulares. El Manual de CFE intenta aproximar esta demanda usando  $F_{sit}$  y  $F_{res}$  muy conservadores en sus espectros de aceleración constante y que corresponde a considerar siempre la estructura desplantada en terreno tipo III (suelos blandos). Pudiera no ser conveniente, en el diseño particular de cada elemento, ya que estarían siendo sobre dimensionados algunos y otros posiblemente en el límite, pero el ajuste de las condiciones resultaría en un proceso iterativo por cada cambio en las rigideces que involucra.

Por tanto, se recomienda usar el método SIMPLIFICADO para evaluación de la respuesta estructural de forma general evitando considerar en la estabilidad los muros menores a un metro de longitud, como lo sugieren las NTC M (2020).

## 5.- Bibliografía

- CDMX. (2017). *Normas Técnicas Complementarias*. México: Periodico Oficial.
- CFE 2008. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles, Capítulo C.1.3 Diseño por Sismo*. México: IIE.
- CFE/IIE. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento*. México: IIE.
- CFE/INEEL. (2015). *Manual de Obras Civiles, capítulo C.1.3 Diseño por Sismo*. México: INEEL.
- Iglesias, J., Aguilar Carboney, J., Mota, O., & Terán, A. (Junio de 1987). Intensidad del Sismo de 1985 en Cd. de México. *Revista IMCYC*, 25(193).
- INEEL-CFE. (2015). PRODISIS 4.1. *Programa de Diseño Sísmico*. México.
- Juárez García, H., Gómez Bernal, A., Gama Contreras, C., Gama G., A., Pelcastre P., E., & Roldán I., J. (2014). Método de evaluación simplificada de la capacidad de estructuras típicas de Cd. de México (Método UAM-A). *XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Puerto Vallarta, Jalisco: SMIE.
- Mora, J., González, R., Aguirre, J., García Moreno, L., Rueda, J., Lovera, S., . . . Hernández, R. (2012). *Microzonificación Sísmica de Tapachula de Córdoba y Ordoñez, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: CONACYT-COCYTECH.
- NTC M. (2004). Normas Técnicas Complementarias para Mampostería 2004. *Gaceta oficial del Distrito Federal*. Distrito Federal, México.
- Ruíz G., S., Bojórquez, J., & Santos, M. (2012). Factores de Cargas Viva y Muertas (Secc 3.4A NTCCA). *Mesa de análisis de las NTCCA*. México: UNAM II.
- Secretaría General de Obras Públicas del Departamento del D.F. (1987). *Evaluación de la Capacidad Sísmica de edificios en México*. México: DDF.
- Tena Colunga, A., Cano Licon, 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(82).
- Zárate, G., Ayala, A., & García, O. (2003). Método Estático para Edificios Asimétricos: Revisión de Enfoques. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 25-44(69).

## 6.- Anexos.

Tabla 6.1.1 del Capítulo Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

Tabla 6.1.1 Cargas vivas unitarias, kN/m<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>)

Destino de piso o cubierta	W	W <sub>a</sub>	W <sub>m</sub>	Observaciones
a) Habitación (casa–habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares)	0.8 (80)	1.0 (100)	1.9 (190)	1
b) Oficinas, despachos y laboratorios	1.0 (100)	1.8 (180)	2.5 (250)	2
c) Aulas	1.0 (100)	1.8 (180)	2.5 (250)	
d) Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)	0.4 (40)	1.5 (150)	3.5 (350)	3 y 4
e) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales	0.4 (40)	3.5 (350)	4.5 (450)	5
f) Otros lugares de reunión (bibliotecas, templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, salas de juego y similares)	0.4 (40)	2.5 (250)	3.5 (350)	5
g) Comercios, fábricas y bodegas	0.8W <sub>m</sub>	0.9W <sub>m</sub>	W <sub>m</sub>	6
h) Azoteas con pendiente no mayor de 5 %	0.15 (15)	0.7 (70)	1.0 (100)	4 y 7
i) Azoteas con pendiente mayor de 5 %; otras cubiertas, cualquier pendiente.	0.05 (5)	0.2 (20)	0.4 (40)	4, 7 8 y 9
j) Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	0.15 (15)	0.7 (70)	3 (300)	
k) Garajes y estacionamientos (exclusivamente para automóviles)	0.4 (40)	1.0 (100)	2.5 (250)	10

Para descripción de observaciones referirse a las NTC (2017).



## PLANTA ALTA, Dirección Y

MUJO	VR	K	VD	X	Xt	KXt	KXt2	VT1	VT2	Vy	Vx	Vy+0.3Vx	Vu	Estatus
Y1	14,899	7.78E+04	6,699	-	-	3.50 - 272,219	952,767	- 2,609	845	5,854	6,322	7,751	8,526	Ok
Y2														
Y3														
Y10														
Y4	15,300	7.78E+04	6,699	3.50	-	-	-	-	-	6,699	6,322	8,596	9,456	Ok
Y5														
Y6														
Y6'														
Y7	14,899	7.78E+04	6,699	7.00	3.50	272,219	952,767	2,609	845	9,309	6,322	11,205	12,326	Ok
Y8														
Y9														
Y11														
	45,097	2.33E+05	20,098				1,905,534			21,862	18,965			

PLANTA BAJA, Dirección X

Planta Baja														
			Vx =	26,362	Kg	Xt =	3.50	Mx1 =	72,412	kg-m				
			Vy =	28,984	Kg	Yt =	5.41	My1 =	42,573	kg-m				
								Mx2 =	53,958	kg-m				
								My2 =	17,531	kg-m				
			CORRANTES			Kt = $\sum KYt^2 + \sum KXt^2 =$		2,112,149						
MURO	VR	Ki	VD	Y	Yt	KYt	KYt2	VT1	VT2	Vx	Vy	Vx+0.3Vy	Vu	Estatus
X1	1,426	5.64E+02	187	8.62	3.21	1,811	5,817	62	149	336	318	431	474	Ok
X2	2,149	3.61E+03	1,198	8.62	3.21	11,596	37,251	398	952	2,150	2,086	2,761	3,037	Np
X3														
X4	1,426	5.64E+02	187	8.62	3.21	1,811	5,817	62	149	336	318	431	474	Ok
X5	8,919	3.16E+04	10,487	6.11	0.70	22,192	15,588	761	398	11,248	17,823	16,595	18,255	Np
X6														
X7	4,770	1.92E+04	6,383	5.10	0.31	5,913	1,819	203	46	6,429	10,847	9,683	10,651	Np
X8	4,750	1.91E+04	6,347	5.10	0.31	5,880	1,809	202	46	6,393	10,786	9,629	10,592	Np
X9	1,456	5.64E+02	187	-	5.41	3,048	16,482	104	421	608	318	704	774	Ok
X10	2,150	3.61E+03	1,198	-	5.41	19,519	105,551	669	2,696	3,895	2,086	4,506	4,956	Np
X11														
X12	1,009	5.64E+02	187	-	5.41	3,048	16,482	104	421	608	318	704	774	Ok
	28,055	7.94E+04	26,362				206,616			32,003	44,800			

## PLANTA BAJA, Dirección Y

MURO	VR	K	VD	X	Xt	K Xt	K Xt2	VT1	VT2	Vy	Vx	Vy+0.3Vx	Vu	Estatus	
Y1	18,207	7.78E+04	9,661	-	-	3.50 -	272,219	952,767 -	5,487	7,908	17,569	10,668	20,770	22,847	Np
Y2															
Y3															
Y4	19,643	7.78E+04	9,661	3.50	-	-	-	-	-	9,661	10,668	12,862	14,148	Ok	
Y5															
Y5'															
Y6															
Y7	18,207	7.78E+04	9,661	7.00	3.50	272,219	952,767	5,487	7,908	17,569	10,668	20,770	22,847	Np	
Y8															
Y9															
	56,057	2.33E+05	28,984				1,905,534			44,800	32,003				