



**Sistema Nacional de Protección Civil
Centro Nacional de Prevención de Desastres**

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL CONJUNTO LOS GIRASOLES DESPUÉS DEL SISMO
DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017.**

Joel Aragón Cárdenas

Dirección de Investigación
Subdirección de Vulnerabilidad Estructural

2019

CONTENIDO

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 CONCEPTOS GENERALES.....	5
1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	5
1.3 ESTIMACIÓN DE LAS CARGAS DE DISEÑO DEL EDIFICIO	9
1.3.1 Acciones permanentes.....	9
CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE CARGAS.....	10
2.1 CARGAS MUERTAS	11
2.2 CARGAS VIVAS	11
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS SÍSMICO.....	12
3.1 FACTOR DE COMPORTAMIENTO SISMICO	12
3.2 FACTOR DE IRREGULARIDAD	12
3.3 ESPECTRO DE DISEÑO.....	13
CAPÍTULO 4 COMBINACIONES DE DISEÑO	14
CAPÍTULO 5 ESTRUCTURACIÓN	15
CAPÍTULO 6 MATERIALES.....	15
6.1 CONCRETO	15
6.2 MAMPOSTERÍA	16
6.3 IMÁGENES DE MODELO	16
REFERENCIAS.....	17

RESUMEN

Las afectaciones en vivienda producidas por el sismo del 19 de septiembre de 2017, mostraron que en la ciudad aún existen edificios que sobrevivieron en 1985 considerados estructuralmente adecuados, que presentaron deficiencias no solo en cuanto a su resistencia a su estructuración. Un ejemplo de estas estructuras que han pasado desapercibidas en otros eventos sísmicos, es el Conjunto Girasoles, que si bien no existieron colapsos, hubo daños severos en varios de los edificios que forman el conjunto.

En el presente estudio se realizará el análisis estructural de un modelo representativo del conjunto los Girasoles, al cual se le aplicarán diferentes análisis para obtener por la vía analítica varias de sus características dinámicas, con el fin de explicar las causas del daño que presentaron varias de las estructuras. Además, de presentar los datos y resultados obtenidos de la campaña de monitoreo realizada a tres edificios del mencionado conjunto habitacional. Posterior a lo cual, se analizarán las diferencias entre los modelos analíticos y los resultados de campo.

ABSTRACT

Damages on housing produced by September 19th 2017 earthquake, showed that there still are buildings in Mexico City that survived in 1985 considered structurally adequate, which presented deficiencies not only in terms of their resistance but their structuring. An example of these structures that have gone unnoticed in other seismic events is Conjunto Girasoles, which although there were no collapses, there were severe damages in several buildings of complex.

In this work, the structural analysis of a representative model of Conjunto Girasoles will be carried out, to which different analyzes will be applied to obtain several of its dynamic characteristics through the analytical route, in order to explain the causes of the damage of several structures presented. In addition, data and results obtained from the monitoring campaign carried out to three buildings of the mentioned housing complex will be presented. Subsequently, the differences between analytical models and field results will be analyzed

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 CONCEPTOS GENERALES

Para el cálculo del periodo de vibración natural de una estructura es necesario realizar un análisis estructural completo, existen métodos empíricos que pueden ser de gran ayuda para indicar hacia donde se deberá dirigir el estudio o el rango de resultados que se pueden esperar; sin embargo, si se desea eliminar la incertidumbre se deberá realizar el análisis estructural completo de la estructura, a través del programa de análisis estructural obtener un valor que pueda ser comparable con los medidos en campo.

Para la realización de un análisis estructural se deben conocer las características de todos los elementos estructurales de una edificación, en este caso al no tener la información completa se supondrán aquellas características faltantes como las mínimas sugeridas por el reglamento de construcciones vigente en la época de construcción de inmueble en análisis. Además, se realizará el análisis con los mínimos establecidos por el reglamento actual para verificar la idoneidad de la construcción y en el caso teórico recomendar mejoras.

Por su parte la vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad que tiene una construcción a presentar algún tipo de daño, provocado por la acción de algún fenómeno perturbador (Ley General de Protección Civil, 2012), la metodología planteada por el CENAPRED en la *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Municipales y Estatales*, plantea a partir de la tipología de un inmueble un índice de vulnerabilidad que proporciona un valor esperado, con este dato y conociendo la aceleración de algún evento sísmico relevante se puede conocer el daño esperado en la construcción así se puede realizar la comparación de daño observado contra el daño estimado con las funciones de vulnerabilidad de la guía básica.

El objetivo del presente informe es conocer la vulnerabilidad para la tipología estructural del modelo analizado en este informe, así como realizar la comparación entre los resultados de campo y los analíticos. Para todos estos análisis se aplicaran los estándares establecidos en la Normas Técnicas Complementarias para Diseño Sísmico, Normas de mampostería y Normas de Concreto Reforzado del reglamento de Construcciones para la Ciudad de México, en sus diferentes épocas.

1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La ubicación de los edificios en análisis dentro de la Ciudad de México se muestra en la Figura 1.1. Las coordenadas geográficas de la ubicación de cada uno de ellos son: Long -99.124910° W, Lat 19.310070° N (edificio 14), Long -99.125188° W, Lat 19.309176° N (edificio 62) y Long -99.125460° W, Lat 19.308257° N (edificio 74).



Tabla 1.1 Coeficientes sísmicos de diseño según diversas versiones del RCDF

Versión del reglamento	Zonificación del suelo	Coeficiente sísmico
RCDF 1976	I. Terreno firme II. Terreno de transición III. Terreno compresible	0.1 0.20 0.24
RCDF 1987 – 1993	Zona I. Lomas(roca) Zona II. Transición (roca dura a menos de 20 m) Zona III. Lacustre (depósitos de arcilla)	0.16 0.32 0.4
RCDF 2004	Zona I Zona II Zona IIIa Zona IIIb Zona IIIc Zona IIId	0.16 0.32 0.4 0.45 0.4 0.3

De acuerdo a la información presentada, los coeficientes de diseño para el modelo analítico serán 0.24 para la estructura original y 0.4 para el modelo con las condiciones actuales de diseño. Se observa de inicio que la estructura estaba en condiciones de vulnerabilidad al estar diseñada con demandas sísmicas más bajas que las requeridas por el Reglamento actual, sin embargo se realizará la revisión estructura para verificar el desempeño de la misma.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO

El Conjunto *Los Girasoles* es una unidad habitacional constituida por aproximadamente 50 edificios de características similares, los cuales constan de dos cuerpos de cuatro niveles unidos por una par de escaleras colocadas entre ambos, estas rampas de escaleras forman una unión estructural. En el conjunto existen dos tipos estructurales: en uno el cuerpo anterior consta de una combinación de marcos de concreto en planta baja (planta baja flexible) y muros de carga de mampostería hueca con refuerzo interior en los niveles superiores del 2 al 4, el cuerpo posterior está constituido por muros de carga de mampostería hueca con refuerzo interior (ladrillos de arcilla huecos) en toda su altura (cuatro niveles), ver la figura 1.3. Las losas de entrepiso consisten en un sistema de vigueta y bovedilla. La estructura es regular en planta, no así en elevación, sobre todo en el caso del cuerpo anterior que presenta planta baja débil.

El segundo tipo de estructura, consiste igual de dos cuerpos unidos por dos rampas de escaleras, pero en este caso ambos cuerpos son en su totalidad de mampostería con refuerzo interior, desde la planta baja hasta el cuarto nivel.

El conjunto habitacional fue construido a comienzos de la década de 1980, entre 1983 y 1984, por lo que se presume que fueron diseñados con el reglamento de construcciones de 1976, vigente en aquel momento. De ahí la necesidad de conocer los estándares establecidos en ese entonces. De acuerdo a lo anterior el coeficiente sísmico de diseño para la estructura toma un valor de 0.24, que es mucho menor que el coeficiente actual en la zona sísmica donde se ubica el conjunto habitacional. Con lo cual se pudo ver que la estructura no cumple con los estándares actuales, resta verificar si cumple con los de diseño de acuerdo al reglamento vigente en aquel tiempo.

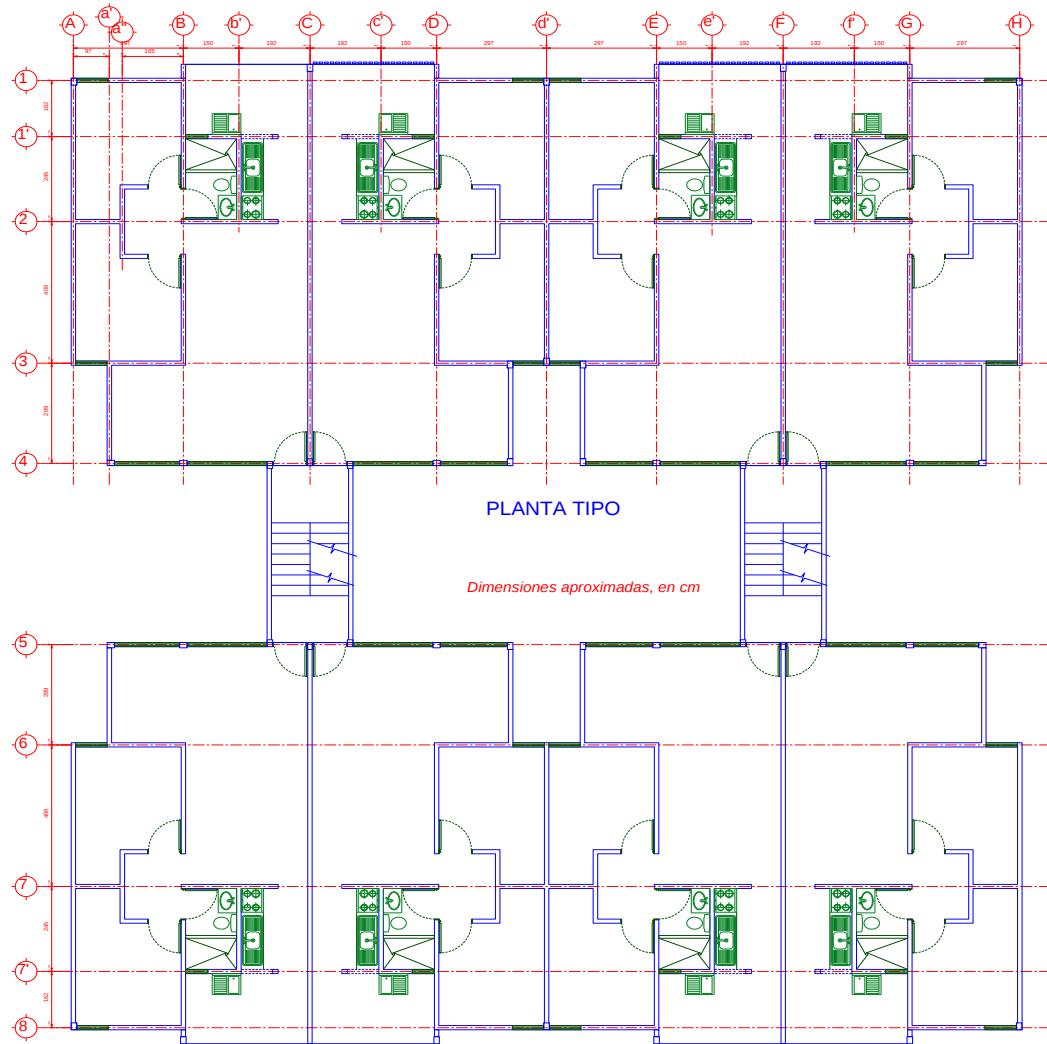
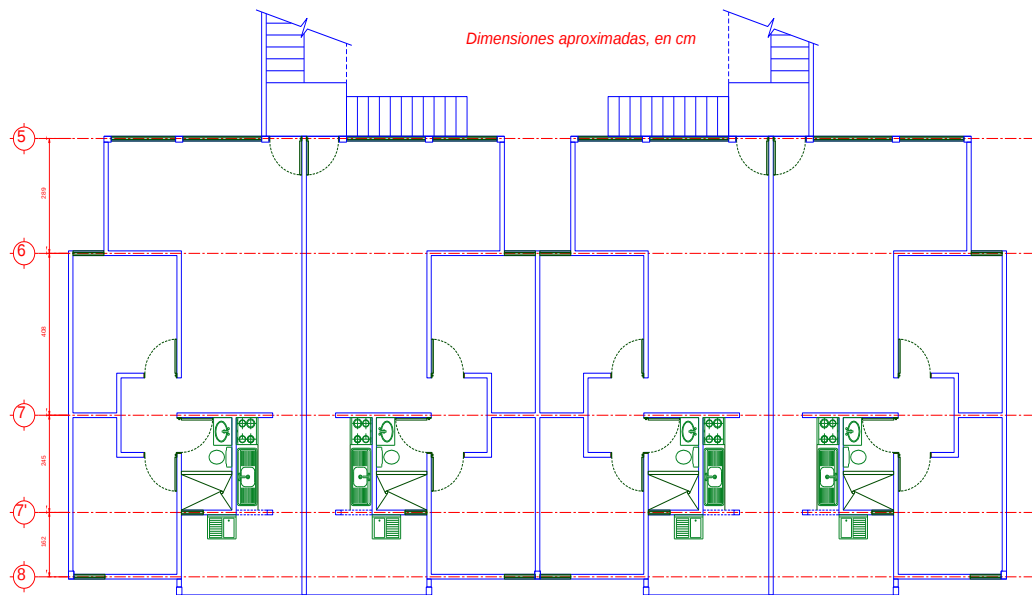


Figura 1.3 Planta general del edificio prototipo del Conjunto los Girasoles

En la figura 1.4 se muestra el plano de la planta baja del edificio prototipo, en donde se puede ver la combinación de sistemas estructurales.



De acuerdo con las NTC se consideran tres categorías de acciones de acuerdo con la

presfuerzo o a movimientos diferenciales permanentes de los apoyos. (sic) NTC sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones).

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DE CARGAS

Las cargas empleadas para la estructura modelada se puede desglosar en tres casos de carga

- Carga muerta (CM)
- Carga viva máxima (CVM)
- Carga viva reducida o instantánea

Calculo del peso propio de los elementos estructurales.

De acuerdo a estas normas las cargas permanentes que se tomaran en cuenta serán las cargas muertas sobre la estructura. Las cuales incluyen el peso propio de los elementos estructurales y los acabados del inmueble.

Para el cálculo de las fuerzas debidas al peso propio de la estructura se utilizara la distribución presentada en las figuras 1.3 y 1.4 que muestra la ubicación de los elementos estructurales y a partir de las cuales se pueden estimar de las cargas tributarias que toma cada elemento

El peso muerto calculado de losas de concreto de peso normal coladas en el lugar se incrementará en 0.2 kN/m^2

(20 kg/m^2). Cuando sobre una losa colada en el lugar o precolada, se coloque una capa de mortero de peso normal,

el peso calculado de esta capa se incrementará también en 0.2 kN/m^2 (20 kg/m^2) de manera que el incremento total será de 0.4 kN/m^2 (40 kg/m^2). Tratándose de losas y morteros que posean pesos volumétricos diferentes del normal, estos valores se modificarán en proporción a los pesos volumétricos

Las acciones permanentes son las que obran en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad varía

poco con el tiempo. Las principales acciones que pertenecen a esta categoría son: la carga muerta; el empuje estático de suelos y de líquidos y las deformaciones y desplazamientos impuestos a la estructura que varían poco con el tiempo, como los debidos a presfuerzo o a movimientos diferenciales permanentes de los apoyos; b) Las acciones variables son las que obran sobre la estructura con una intensidad que varía significativamente con el tiempo. Las principales acciones que entran en esta categoría son: la carga viva; los efectos de temperatura; las deformaciones impuestas y los hundimientos diferenciales que tengan una intensidad variable con el tiempo, y las acciones debidas al funcionamiento de maquinaria y equipo, incluyendo los efectos dinámicos que pueden presentarse debido a vibraciones, impacto o frenado; y c) Las acciones accidentales son las que no se deben al funcionamiento normal de la edificación y que pueden

alcanzar intensidades significativas sólo durante lapsos breves. Pertenecen a esta categoría: las acciones sísmicas; los efectos del viento; las cargas de granizo; los efectos de explosiones, incendios y otros fenómenos que pueden presentarse en casos extraordinarios. Será necesario tomar precauciones en las estructuras, en su cimentación y en los detalles constructivos, para evitar un comportamiento catastrófico de la estructura para el caso de que ocurran estas acciones.

- Aceleraciones sísmicas para un cierto periodo de retorno. Los periodos de retorno comunes para estos análisis son de 10, 50, 100, 200 y 500 años.
- Aceleraciones para un escenario de ocurrencia de sismo específico ya sea histórico o postulado. Normalmente se define proponiendo el epicentro y profundidad (ubicación geográfica), magnitud del sismo y algunas otras características del movimiento, y se estima en el sitio de interés la aceleración sísmica del terreno mediante funciones de

atenuación e incluso existen reglas para calcular las aceleraciones espectrales (obtener el espectro de respuesta).

- El tercer caso es considerar valores de aceleración del terreno y espectros para fines de diseño. Dicha información se puede encontrar en reglamentos de construcción con requisitos de diseño sísmico para la localidad de que se trate, incluyendo en algunos casos una microzonificación sísmica. En cierta forma estos valores de diseño ya toman en cuenta en su definición cierto periodo de retorno conveniente para cada tipo de edificación así como las posibles fuentes sísmicas que influyan en el peligro sísmico del sitio.
-

2.1 CARGAS MUERTAS

Son los pesos de todos los elementos que ocupan una posición permanente en el edificio y que tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo en las siguientes tablas se muestra lo que se consideró para este caso y en que caso aplica

HABITACIONES			
		kg/m2	
CARGAS MUERTAS			
LOSACERO h=6cm	236		
ACABADOS	80		
INSTALACIONES	20		
MUROS	80		
SOBRECARGA RCDF	40	220	
	456		kg/m2
CARGAS VIVAS			
MÁXIMA	170		kg/m2
INSTANTÁNEA	90		kg/m2

AZOTEA			
		kg/m2	
CARGAS MUERTAS			
LOSACERO h=6cm	236		
RELLENOS	200		
INSTALACIONES	40		
IMPERMEABILIZANTE	20		
SOBRECARGA RCDF	40	300	
	536		kg/m2
CARGAS VIVAS MENOR AL 5%			
MÁXIMA	100		kg/m2
INSTANTÁNEA	70		kg/m2
CARGAS VIVAS MAYOR AL 5%			
MÁXIMA	40		kg/m2
INSTANTÁNEA	20		kg/m2

2.2 CARGAS VIVAS

Son aquellas fuerzas que se producen por el uso y ocupación de los edificios y que no son permanentes. Las cargas vivas a utilizar para el diseño del edificio son las mostradas en la Tabla 2.

Dónde:

W Carga viva media

W_a Carga viva instantánea

W_m Carga viva máxima

Destino de piso o cubierta	W	W _a	W _m	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 _m	0.9W _m	W _m	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)	

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS SÍSMICO

El análisis sísmico empleado fue el dinámico modal con el espectro proporcionado por el software SASID para ello se requiere tener los datos o valores de cierto factores que intervienen o modifican el espectro de diseño, los cuales son factor de irregularidad, factor de comportamiento sísmico y la ubicación en coordenadas

3.1 FACTOR DE COMPORTAMIENTO SISMICO

Según lo estipulado en las normas y debido a que la estructura es a base de piezas de mampostería confinada se uso en factor $Q=1.5$

Tabla 4.2.3 Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería ⁽¹⁾

Estructuración	Q	γ_{max}
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal ⁽²⁾	2.0	0.010
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas	2.0	0.005
Muros de carga de mampostería confinada de piezas huecas con refuerzo horizontal ⁽²⁾	2.0	0.008
Muros de carga de mampostería confinada de piezas huecas	1.5	0.004
Muros de carga de mampostería de piezas huecas reforzadas interiormente	1.5	0.006
Muros diafragma	(3)	(4)
Muros de carga de mampostería confinada en combinación con otro sistema estructural de concreto o acero	(3)	(4)
Muros de carga de mampostería de piezas huecas o macizas no confinados ni reforzados ⁽⁵⁾	1.0	0.002
Mampostería de piedras naturales	1.0	0.002

3.2 FACTOR DE IRREGULARIDAD

Como el edificio es de planta baja débil se consideró un factor de irregularidad de 0.7

5.5 Corrección de Q' por irregularidad

Si se realiza un análisis dinámico modal o uno estático como los establecidos en las secciones 6.1 y 7.1, respectivamente, las condiciones de irregularidad se tomarán en cuenta multiplicando el factor Q' definido en la sección 3.4, por 0.8 cuando la estructura sea irregular según la sección 5.2 y por 0.7 cuando la estructura sea muy irregular según la sección 5.3. En ningún caso el factor Q' se tomará menor que 1.0.

Cuando el edificio es calificado como de planta baja débil, según se define en la sección 5.4, se deberá diseñar su primer entrepiso para que sea capaz de resistir la fuerza cortante basal correspondiente a un factor de reducción Q' igual a 1, mientras que los otros entrepisos se diseñarán para resistir las fuerzas internas que resultan del análisis con el factor de reducción Q' que corresponda al sistema estructural sin afectarlo por los factores de irregularidad. Se revisará además que la distorsión máxima del primer entrepiso para el sismo de diseño no exceda 0.006.

Si se realiza un análisis dinámico no lineal paso a paso, como el establecido en la sección 6.2, pueden emplearse las historias de aceleraciones determinadas de acuerdo con dicha sección, sin necesidad de incorporar un factor correctivo por irregularidad.

3.3 ESPECTRO DE DISEÑO

Espectro de diseño

Espectro de diseño para las coordenadas indicadas.

Coordenadas	
Latitud	Longitud
19.307740	-99.126160

Factores sísmicos			
Importancia	Irregularidad	Comportamiento sísmico	Hiperestaticidad
B	0.7	1.5	1.0

Parámetros sísmicos					
Ts	a0	c	Ta	Tb	k
[s]			[s]	[s]	
1.133	0.318	1.045	0.920	1.620	0.560

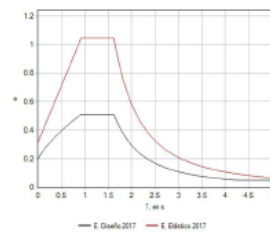


Figura 1. Espectro de diseño

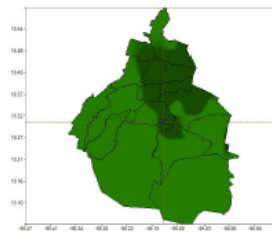


Figura 2. Mapa de localización

CAPÍTULO 4 COMBINACIONES DE DISEÑO

Combinaciones de cargas

Se muestran las combinaciones de carga que estipulan las NTC-2017 para un análisis dinámico modal que incluyen cada una de las acciones a las que se verá sometido el edificio y así garantizar la seguridad del mismo.

- Combinación 1: $1.3 (CM) + 1.5 (CV_{\text{máxima}})$
- Combinación 2: $1.1 (CM + CV_{\text{instantánea}} + SX + 0.30SY)$
- Combinación 3: $1.1 (CM + CV_{\text{instantánea}} + SX - 0.30SY)$
- Combinación 4: $1.1 (CM + CV_{\text{instantánea}} + 0.30SX + SY)$
- Combinación 5: $1.1 (CM + CV_{\text{instantánea}} + 0.30SX - SY)$
- Combinación 6: $1.1 (CM + CV_{\text{instantánea}} - SX - 0.30SY)$
- Combinación 7: $1.1 (CM + CV_{\text{instantánea}} - SX + 0.30SY)$
- Combinación 8: $1.1 (CM + CV_{\text{instantánea}} - 0.30SX - SY)$
- Combinación 9: $1.1 (CM + CV_{\text{instantánea}} - 0.30SX + SY)$

CAPÍTULO 5 ESTRUCTURACIÓN

Para el trazo de la estructura se tenían planos de la estructura para tener las dimensiones de los elementos estructurales así como de las alturas de entrepiso en general la geometría del inmueble la cual en un cuerpo la planta baja esta compuesta de marcos de concreto (columnas y trabes) y los niveles superiores a base de mampostería simple



Mientras que el otro cuerpo está estructurado en mampostería simple (se aprecia falta de confinamiento en las ventanas)

CAPÍTULO 6 MATERIALES

Debido a que es una obra existente y no se tienen como tal el proyecto estructural o planos con las características de los materiales se supondrá un concreto de 200 kg/cm² para todos los elementos de concreto (losas, dallas, columnas, vigas y trabes) ya que este tipo de concreto se puede alcanzar fácilmente para viviendas de autoconstrucción y fácil de realizar

6.1 CONCRETO

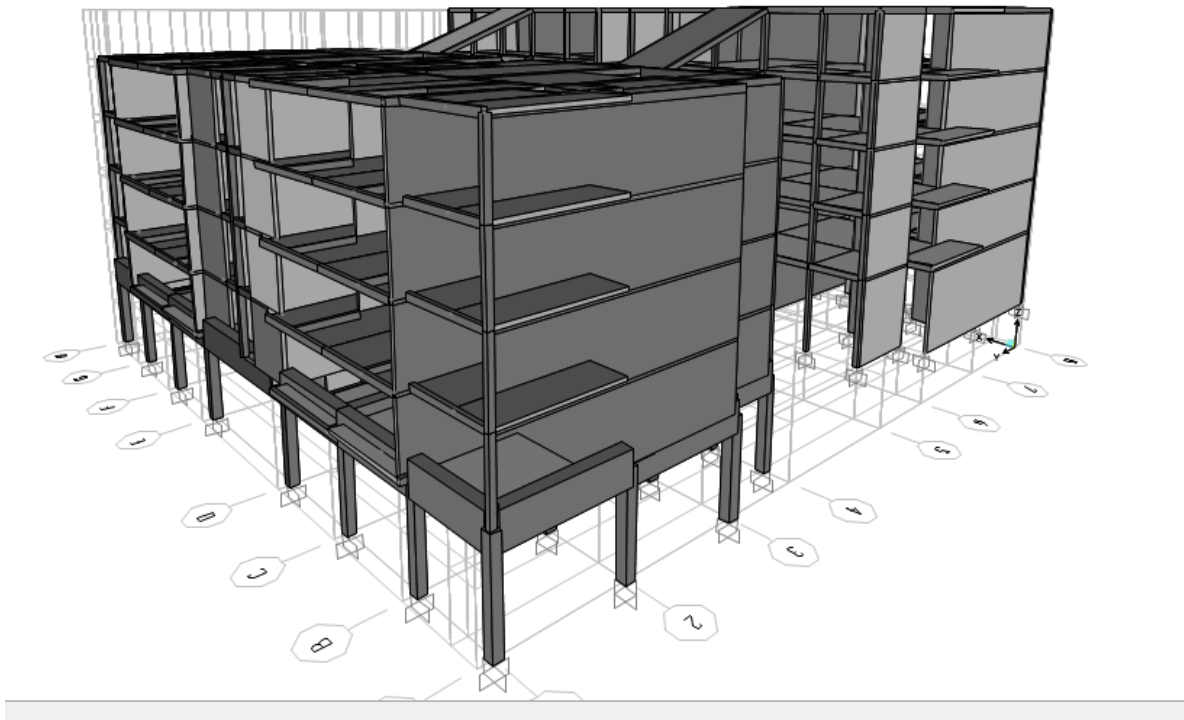
concreto	
peso volumetrico	2400 kg/m ³
	kg/cm ²
f'c	200
E (14000*f'c ^{0.5})	221359

6.2 MAMPOSTERÍA



mamposteria	
peso volumetrico	850 kg/m ³
	kg/cm ²
f'm	40
V'm	2
Em (600*f'm)	24000
Gm (0.2*Em)	4800

6.3 IMÁGENES DE MODELO



REFERENCIAS

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2004), "Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos", Serie Atlas Nacional de Riesgos, Vol. 1, Versión 2004, ISBN 970-628-872-4, 386 pp.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2006), "Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social", Serie Atlas Nacional de Riesgos, 1ª edición, noviembre de 2006, ISBN 970-628-906-2, 166 pp.

Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015), "Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo", México, 422 pp.

Esteva L., Díaz O., Ismael E., Rodríguez N., López A., Flores L.E., Reyes C., López O. (2004), "Análisis de vulnerabilidad y riesgo de construcciones urbanas ante perturbaciones sísmicas y eólicas", Informe Técnico del Instituto de Ingeniería de la UNAM, Instituto de Investigaciones Eléctricas y el Centro Nacional de Prevención de Desastres, noviembre, 117 pp.

Flores L.E. y Sánchez A. (2014), "Propuesta de funciones de vulnerabilidad para vivienda de mampostería y adobe ante el efecto sísmico", Informe Interno, Centro Nacional de Prevención de Desastres, diciembre de 2014, 68 pp.

Flores L.E. y Ortiz J.R (2015), "Estudio de la Vulnerabilidad de la Edificación para Vivienda en la Ciudad de Tapachula, Chiapas", Informe Interno Centro Nacional de Prevención de Desastres, diciembre de 2015, 21 pp.

Google Earth, (2016), descargado del sitio <https://www.google.es>.

Google Maps, (2016), consultado en el sitio <https://www.google.com.mx/maps/>.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2014), "Ley General de Protección Civil", Diario Oficial de la Federación, 3 de junio de 2014, 32 pp.

Quantum Gis (2015), Sistema de Información Geográfica de código libre, descargado en 2015 del sitio <http://www.qgis.org/es/site/>.

Sánchez A, Flores L.E., Martínez Celis C.A., Aragón J., Castañeda A., López O., Reyes T.A., Galaviz S.A., Jiménez J.C., Contreras M.G. (2015), "Informe de los daños por el sismo M 6.9 del 7 de julio de 2014 ocurrido en la costa de Chiapas", Informe Interno, Centro Nacional de Prevención de Desastres, enero de 2015, 51 pp.

Tapachula (2016), portal del Municipio de Tapachula, consultado en diciembre de 2015; <http://portal.tapachula.gob.mx/>