

Comparación de métodos dinámicos y estáticos en la respuesta estructural de viviendas

Rodrigo Moreno Sánchez
Universidad Autónoma de Guerrero
Lázaro Cárdenas, S/N CU, C.P. 39070
Chilpancingo de los Bravo, Mexico
+ 52 (747), 472 79 43
rodrigomosa@live.com.mx

Mateo Sánchez Calvo
Universidad Autónoma de Guerrero
Lázaro Cárdenas, S/N CU, C.P. 39070
Chilpancingo de los Bravo, Mexico
+ 52(747), 472 79 43
sc_421@hotmail.com

Raziel Barragan Trinidad
Universidad Autónoma de Guerrero
Lázaro Cárdenas, S/N CU, C.P. 39070
Chilpancingo de los Bravo, Mexico
+ 52 (747), 472 79 43
razielbt@gmail.com

Alfredo Cuevas Sandoval
Universidad Autónoma de Guerrero
Lázaro Cárdenas, S/N CU, C.P. 39070
Chilpancingo de los Bravo, Mexico
+ 52 (747), 472 79 43
Acuevas36@hotmail.com

RESUMEN

Se aplica el método dinámico modal espectral mediante la modelación numérica de una vivienda de dos niveles de mampostería confinada en el programa de análisis y diseño estructural SAP2000. Se establecen propiedades de los materiales (concreto y mampostería), secciones de elementos constituyentes (castillos, cadenas, losas y muros), espectro de diseño y combinación de acciones especificados por el Reglamento de Construcciones para el Municipio de Chilpancingo de los Bravo, Gro., RCCH. Los resultados se comparan con los obtenidos del método simplificado de análisis sísmico y mediante la aplicación de curvas de densidad de muros propias para las ciudades de Acapulco y Chilpancingo, Gro.

Área temática

Ingeniería Estructural.

Palabras clave

Estructuras de mampostería, método dinámico, método estático.

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación estructural es una actividad a la que se recurre más con fines correctivos que preventivos, sobre todo posterior a eventos catalogados de tipo accidental como los sismos. Se aplica a todo tipo de obra civil, que en particular para edificaciones comunes (viviendas a base de muros de carga y edificios de concreto reforzado) existen formatos que dependencias gubernamentales, lideradas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, tratan de integrar una plataforma común para la evaluación estructural de este tipo de construcciones.

Con la finalidad de evaluar la capacidad sismorresistente de una casa-habitación mediante el método dinámico, se realiza el modelo numérico en SAP2000 de la vivienda localizada en calle Libertad esquina con Andador Jalisco #8, en la localidad Lomas de Xocomulco de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero.

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, RCDF, permite la aplicación de métodos estáticos y dinámicos para el análisis estructural de construcciones a base de mampostería. Los primeros son aplicables para inmuebles que cumplen condiciones de regularidad tanto en planta como en elevación, mientras que para los segundos no existe limitación alguna.^[1]

En la Unidad Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero, se desarrolló un estudio para modificar y particularizar las curvas de densidad de muros para viviendas desplantadas en las ciudades de Acapulco de Juárez y Chilpancingo de los Bravo, que décadas atrás fueron propuestas por investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México. La finalidad del estudio fue plantear estrategias para reducir la vulnerabilidad estructural de la vivienda económica de mampostería de la región.^[2]

2. RECONOCIMIENTO FÍSICO

La vivienda en estudio es de dos niveles, con una superficie de construcción de 93 m² por planta, un sistema resistente en base a muros de carga de mampostería confinada de piezas de producción artesanal (tabique rojo recocido), losas macizas de concreto reforzado y cimentación de mampostería de piedra braza. Las dimensiones globales para alto, largo y ancho son 5.24, 13.18 y 7.06 m. Como resultado de la inspección física se determinaron todos los aspectos geométricos de la vivienda (Figura 1).

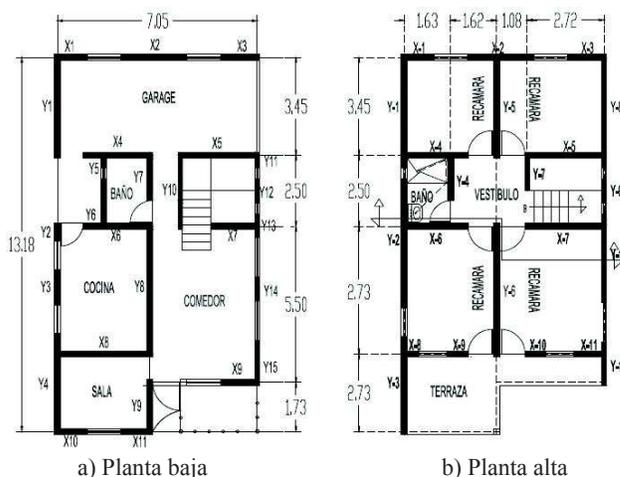


Figura 1. Croquis en planta de la vivienda de estudio

Durante la inspección física se recurrió a una entrevista directa con los usuarios, donde se determinó que la vivienda tiene 10 años de construida. No se apreciaron evidencias de daño estructural (grietas inclinadas en los muros) por lo que la construcción ha

resistido adecuadamente los temblores presentados desde entonces (sismo de Ometepe con 7.4 en 2012 y sismo de Petatlan con 7.2 en 2014, magnitudes en escala Richter).

Existen castillos en extremos e intersección de muros, donde la separación máxima entre ellos es de 2.04 m (Figura 2). De igual modo, se tienen dos tipo de dalas, una intermedia y otra en extremos de muros (cadena de cerramiento).

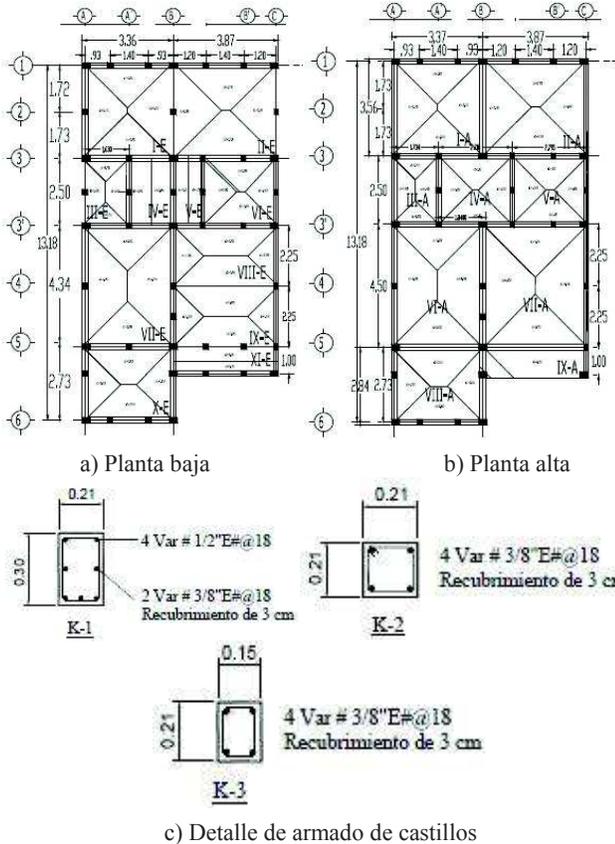


Figura 2. Distribución de castillos en la vivienda

3. MODELO NUMÉRICO

Para la modelación se empleó la versión 15.0 del SAP2000, se definió la calidad de los materiales (resistencia a compresión del concreto de 250 kg/cm² y módulo de elasticidad de 12000 kg/cm² para la mampostería). Los elementos castillos, cadenas intermedias y de cerramiento se establecieron como elementos tipo “frame”, mientras que las losas y muros tipo “shell-thin” (Figura 3).

Para los materiales se emplearon pesos volumétricos máximos especificados por el RCCH (2.4 y 1.5 t/m³ para concreto y mampostería, respectivamente). La carga asignada a las losas correspondió a los conceptos de firmes, aplanado inferior, adicionales, acabado final y carga viva instantánea (carga total de 223 kg/m² para losa de entepiso y 250 kg/m² para losa de azotea).

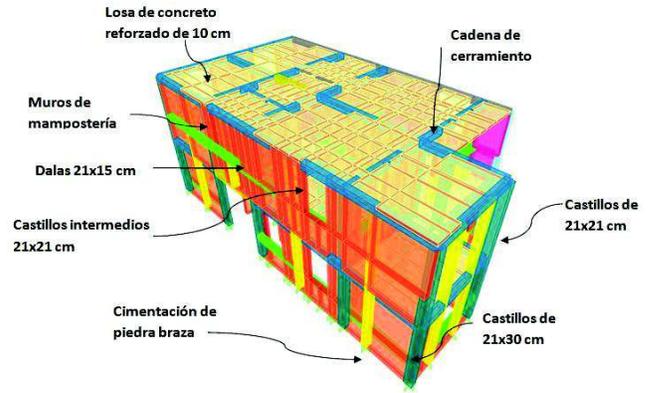


Figura 3. Modelo numérico de vivienda en estudio

Por último de acuerdo al RCCH se asignó el espectro de respuesta para terreno tipo II de la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, Gro., y se definieron las combinaciones de carga.^[3] Para el diseño de los elementos estructurales se determinaron los pesos unitarios y se llevó a cabo la etapa de análisis en ambas direcciones de la estructura por carga gravitacional y sísmica. Se aplicó el método dinámico modal espectral.

Los datos generales para el modelo numérico y propiedades de materiales de acuerdo con el reglamento de construcciones se especifican en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros y propiedades para modelo numérico

Propiedad	Valor
Uso destinado a casa-habitación	-
Estructura perteneciente al Grupo “B”	-
Terreno de desplante	Tipo II
Coefficiente sísmico(c)	0.80
Factor de comportamiento sísmico(Q)	2
Resistencia a la compresión del concreto (f ^c)	250 kg/cm ²
Peso volumétrico del concreto reforzado(γ _c)	2400 kg/cm ³
Resistencia a compresión de tabique rojo recocido(f _p [*])	60 kg/cm ²
Resistencia a compresión diagonal de la mampostería(v _m [*])	3.5 kg/cm ²
Peso volumétrico de la mampostería(γ _m [*])	1700 kg/cm ³
Resistencia a la compresión del mortero(f _t [*])	125 kg/cm ²
Peso volumétrico del mortero (γ _m)	2100 kg/cm ³
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo (f _y)	4200 kg/cm ²

4. RESULTADOS DE MÉTODOS DE ANÁLISIS

Con fines de comparación se muestran los resultados de la revisión de la presente vivienda mediante curvas de densidad de muros, el método simplificado de análisis sísmico y el método dinámico, éstos últimos permitidos por el RCDF y RCCH.

4.1 Densidad de muros

La densidad de muros se determina como la relación del área total de muros orientados en cierta dirección de la construcción entre el área total construida, debe evaluarse para cada nivel y para cada dirección de la construcción.

Una vez determinada la densidad de muros y plasmados los resultados en la curva de densidad para la ciudad de Chilpancingo de los Bravo (Figura 4), se aprecia que la construcción es segura debido que en la Dirección “X” ambos niveles presentan una

densidad de muros ubicada en la zona 4 de las gráficas (densidades 4.87 y 4.05), lo que significa que no requieren refuerzo. Las densidades de 5.3 y 6.7 ubicadas en la zona 4, también indican seguridad en la Dirección “Y” de la vivienda.

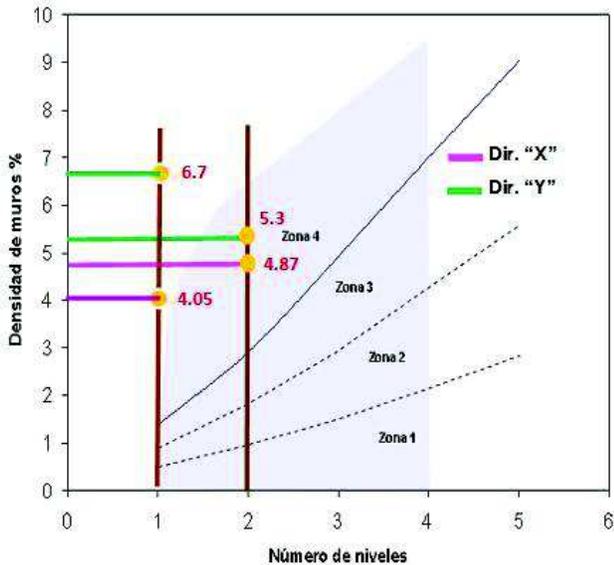


Figura 4. Curva de densidad de muros planta baja y planta alta

Los valores muestran que en la planta alta en la Dirección “Y” existe mayor cantidad de muros con respecto a la planta baja, lo cual es una consecuencia al ubicar en el nivel superior las recámaras y baños, en comparación con la necesidad de espacios abiertos para vestíbulo, sala, comedor y cocina, generalmente ubicados en planta baja.

En la Tabla 2 se presentan medidas de refuerzo para vivienda basadas en las zonas propuestas de la gráfica de densidad de muros para el estado de Guerrero.^[2] En la Figura 5 se muestran técnicas de rehabilitación estructural aplicadas a estructuras de mampostería.^[4]

Tabla 2. Medidas de refuerzo para curvas de densidad de muros

Zona	Medidas de refuerzo
1	Incrementar la longitud de muros de mampostería o construir nuevos. Combinar muros de concreto reforzado con muros de mampostería.
2	Colocar refuerzo horizontal en las juntas de mortero cada tres hiladas (puede emplearse alambre corrugado de 5/32” o escalerilla de alambre estirado en frío de diámetro de 5/16”).
3	Colocar refuerzo horizontal en las juntas de mortero cada tres hiladas (puede emplearse alambre corrugado de 5/32” o escalerilla de alambre estirado en frío de diámetro de 5/16”).
4	No requieren medidas de refuerzo.



a) Reemplazo de piezas y concreto

b) Reparación de grietas



c) Inserción de varillas de acero de refuerzo



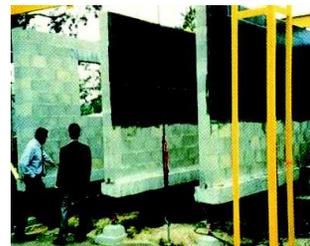
d) Encamisado con malla de polímero



e) Encamisado con malla electrosolda



f) Refuerzo con fibra de vidrio



g) Ensimado con fibras de carbono



h) Adición de elementos confinantes

Figura 5. Técnicas de rehabilitación en estructuras de mampostería ^[4]

4.2 Método simplificado de análisis sísmico

Los cálculos de la revisión a cortante lateral actuante y resistente de los muros de la vivienda mediante el método simplificado se muestran en las Tablas 3 y 4. Los números muestran que todos los muros de la Dirección “X” requieren refuerzo, mientras que en la Dirección “Y” sólo el 50% resisten adecuadamente.

Tablas 3. Revisión de muros de planta baja en Dirección “X”

Muro	L _m (m)	A _{Trib} (m ²)	F _{AE}	P (kg)	V _{Act} (kg)	V _{mR} (kg)
X1	1.2	1.4	0.3	3627.4	2279.4	1770.0
X2	2.3	3.3	1.0	12649.8	13609.3	8676.1
X3	1.4	1.9	0.5	7605.9	3853.7	3301.8
X4	2.5	3.6	1.0	8470.3	14307.2	8107.1
X5	2.7	5.5	1.0	9927.2	15819.4	9081.9
X6	2.5	3.6	1.0	6790.2	14307.2	7754.3
X7	1.6	4.9	0.6	11463.0	5799.9	4972.6
X8	3.3	5.7	1.0	10908.6	18960.0	10677.2
X9	1.4	2.1	0.5	10013.6	3853.7	3807.4
X10	1.2	1.5	0.3	2235.7	2279.4	1477.7
X11	1.1	1.5	0.3	2219.6	2162.5	1422.6
	21.0			85911.5	97231.8	61048.8

A nivel general la vivienda no es adecuada en ambas direcciones, el sismo de diseño demanda alrededor de 97 ton, mientras que resiste 61 y 72 ton en las direcciones “X” y “Y”, respectivamente. Se recalca que es más resistente la dirección larga que la angosta de la construcción. Es importante que la distribución de los espacios no genere muros pequeños en longitud, ya que con ello la relación h/L_m es mayor a 1.33 y por tanto el área neta efectiva es una fracción del área del muro. En el presente estudio, para el muro Y-2 de la planta baja, sólo fue posible emplear el 10% de su área debido a su relación altura entre longitud igual 4.16.

Tablas 4. Revisión de muros de planta baja en Dirección “Y”

Muro	L _m (m)	A _{Trib} (m ²)	F _{AE}	P (kg)	V _{Act} (kg)	V _{mR} (kg)
Y1	3.45	3.2	1.0	9535.9	19213	10878
Y2	0.63	1.2	0.1	4683.5	359	1149
Y3	1.25	2.4	0.4	4876.0	2803	2319
Y4	3.35	3.2	1.0	8852.1	18656	10477
Y5	0.33	0.8	0.0	1069.4	52	248
Y6	1.57	2.7	0.6	3587.4	5554	3319
Y7	1.49	3.6	0.6	1574.0	4747	2523
Y8	4.29	7.3	1.0	15340.0	23891	14257
Y9	1.73	2.0	0.8	3881.0	7431	4247
Y10	2.50	3.1	1.0	8005.8	9945	6275
Y11	0.54	0.4	0.1	5994.4	161	1333
Y12	0.85	0.8	0.2	4147.7	630	1162
Y13	0.80	1.0	0.2	14548.1	525	3298
Y14	0.85	1.3	0.2	27885.0	630	6147
Y15	1.37	0.6	0.5	16798.5	2636	4745
	25.0			130778.8	97231.8	72377

En las tablas anteriores el significado de las variables y expresiones empleadas se definen en la Tabla 5.

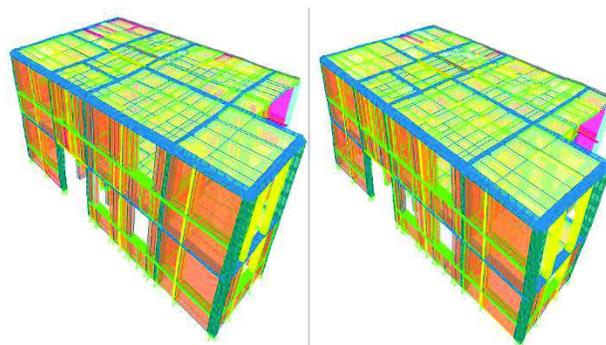
Tabla 5. Variables y expresiones empleadas en el método simplificado

Variable	Significado	Expresión
h	Altura neta del muro	F _{AE} =1 si h/ L _m ≤ 1.33
L _m	Longitud del muro	
A _{Trib}	Área tributaria de losa correspondiente	F _{AE} =(1.33(L _m /h)) ² si

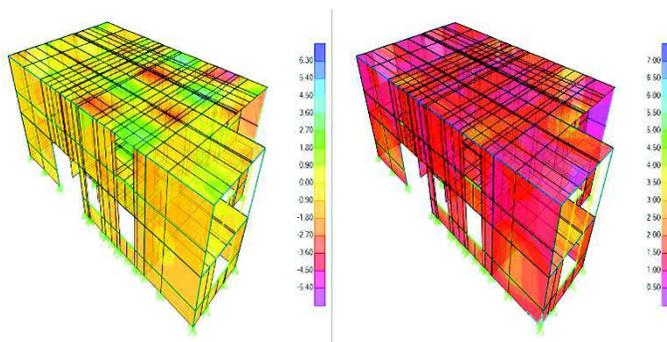
A _T	Área del muro	h/ L _m > 1.33
F _{AE}	Factor de área efectivo	
A _E	Área efectiva del muro	V _{mR} =F _R [0.5U _m * A _T +0.3P]
P	Carga sobre el muro en consideración	V _{mR} ≤1.5FRU _m * A _T
V _{Act}	Fuerza cortante actuante	V _{Act} = A _E *Vu/∑ A _E
V _{mR}	Fuerza cortante que toma la mampostería	

4.3 Método dinámico

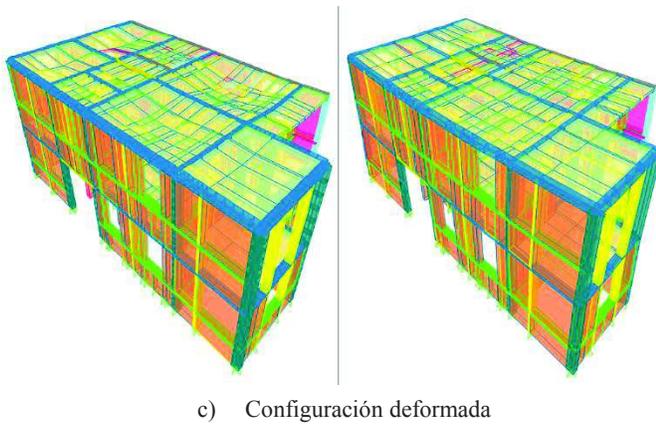
De los resultados se observa que la vivienda es muy rígida en ambas direcciones. El primer modo de vibración en la dirección corta (Dirección “X”) es de 0.1662 s y el segundo (Dirección”Y”) es de 0.1414 s. Los esfuerzos cortantes máximos para la combinación de acciones más desfavorable resultaron muy inferiores a 3.5 kg/cm², especificado por el reglamento para mampostería de tabique rojo recocido y mortero tipo I (Figura 6).



a) Primer y segundo modo de vibración



b) Esfuerzos cortantes máximos



c) Configuración deformada

Figura 6. Resultados del método dinámico

Las características de distribución de los elementos de confinamientos (castillos y cadenas) cumplen lo especificado por el RCDF para mampostería confinada (Figura 7).

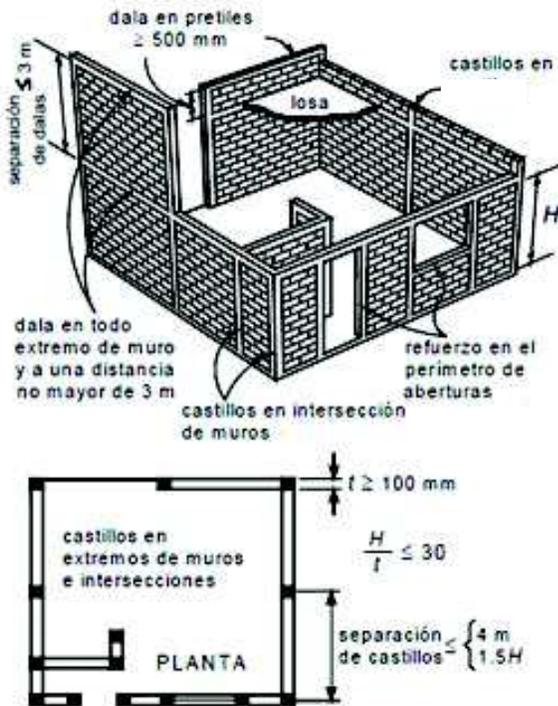


Figura 7. Requisitos para mampostería confinada^[1]

5. CONCLUSIONES

Las curvas de densidad de muros muestran una vivienda muy resistente en ambas direcciones y en ambos niveles; sin embargo, los resultados del método simplificado de análisis sísmico prevén que la mayoría de los muros de la planta baja de la construcción no resisten el cortante deamante por fuerzas sísmicas, siendo más crítico en la Dirección "X". Al aplicar el método dinámico modal espectral a la vivienda en estudio, mediante la modelación numérica en SAP2000, se obtuvieron modos de vibración y esfuerzos en muros que cumplen con la especificación reglamentaria.

A partir de los resultados se sugiere que para determinar la densidad de muros en viviendas de mampostería es necesario considerar el área efectiva en función de la relación altura y longitud del muro. La diferencia entre el método simplificado y el dinámico radica que el primero por ser estático es conservador, mientras que en el segundo, por tratarse de un modelo tridimensional el comportamiento es más adecuado.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la participación de estudiantes de Ingeniero Civil de la Unidad Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero: Karen Itzel Barragán Solís, Facundo Alfredo López Nicolás, Norma Yolanda Lucas Vázquez y Raymundo Martínez Gregorio.

7. REFERENCIAS

- [1] Gobierno del Distrito Federal. 2004. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.
- [2] Arroyo, R., Rodríguez, A., Gama A., Tecuapa, G. y Domínguez A. 2006. Construcción de curvas de densidad de muros y estrategias de reducción de la vulnerabilidad estructural de viviendas popular de mampostería en las ciudades de Acapulco y Chilpancingo, Gro. *Memorias del XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural* (Puerto Vallarta, Jalisco, México, Noviembre 2006).
- [3] H. Ayuntamiento. 1999. *Reglamento de construcciones para el municipio de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero*.
- [4] Castañón, E. J. 2013. *Empleo de malla hexagonal, malla plafón y malla electrosoldada en la rehabilitación de muros de mampostería confinada sujetos a cargas laterales*, Tesis de Maestría en Construcción, Unidad Académica de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero; México.