

REVISIÓN ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS DE LA COLONIA EL COLOSO, ACAPULCO GUERRERO.

Abdiel Carranza
Salgado

Ramiro Ruiz
Silva

Ángel Santiago
González Mercado

Apolonio Navez
Ramírez

Facultad de ingeniería

Facultad de ingeniería

Facultad de ingeniería

Facultad de ingeniería

Av. Lázaro Cárdenas S/N

Av. Lázaro Cárdenas S/N

Av. Lázaro Cárdenas S/N

Av. Lázaro Cárdenas S/N

Ciudad Universitaria,
C.P.39070

Ciudad Universitaria,
C.P.39070

Ciudad Universitaria,
C.P.39070

Ciudad Universitaria,
C.P.39070

Chilpancingo de los Bravo,
Guerrero

ingeacs@hotmail.com

roma13@hotmail.com

agke12@hotmail.com

narapolo@hotmail.com

ABSTRACT.

This article presents a structural review of the houses of the colony El Coloso, Acapulco Guerrero, because of the earthquake registered in Mexico City on September 19, 2017 with a seismic movement of 7.1 degrees on the Richter scale according to the to the National Seismological Service (SSN) of Mexico, as well as the local geological fault of more than 5 km in length that has extended from the Bay of Acapulco to Colonia El Coloso. In compliance with Article 185 of the Construction Regulations of the Municipality of Acapulco de Juárez, Gro. (1999-2002), the stability and structural safety of ten housing complexes was reviewed.

RESUMEN.

En este artículo se presenta una revisión estructural de las viviendas de la colonia El Coloso, Acapulco Guerrero, a causa del sismo registrado en la Ciudad de México el 19 de septiembre de 2017 con un movimiento sísmico de 7.1 grados en la escala de Richter de acuerdo al Servicio Sismológico Nacional (SSN) de México, así como también de la falla geológica local de más de 5 km de longitud que se ha extendido desde la Bahía de Acapulco hasta la Colonia El Coloso. En cumplimiento al artículo 185 del Reglamento de Construcciones del Municipio de Acapulco de Juárez, Gro. (1999-2002), se realizó la revisión de la estabilidad y seguridad estructural de diez conjuntos habitacionales.

ÁREA TEMÁTICA.

- Ingeniería Estructural.

PALABRAS CLAVE.

- Seguridad Estructural.
- Falla en elementos estructurales.

1. INTRODUCCIÓN.

Los fenómenos sísmicos que ocurren en el mundo son cada vez más frecuentes y propensos a dañar las estructuras de la vivienda de los habitantes, en zonas urbanas o rurales. Un sismo como del 1985, solo nos deja ser testigos históricos de como la falta de prevención estructural acompañada de los seguimientos en los reglamentos, los aspectos normativos de construcción y Leyes de Protección civil, no formaron parte de la cultura de prevención en aquellos tiempos. La seguridad estructural de una edificación representa un aspecto esencial de prevención, garantizar que los inmuebles sean seguros con base al Reglamento de construcción municipal, estatal y de las normas técnicas complementarias y especificaciones correspondientes para el sitio en el que se habite. El área en estudio se localiza en una de las zonas sísmicas más activas del mundo, el Cinturón de Fuego del Pacífico, cuyo nombre se debe al alto grado de sismicidad que resulta de la movilidad de cuatro placas tectónicas: Norteamericana, Cocos, Rivera y del Pacífico. Una falla geológica de más de 5 km de longitud se ha extendido en las colonias Icaos y El Coloso de la Ciudad de Acapulco, Guerrero, la cual se origina desde no menos de 200 metros de la Bahía de Acapulco hasta la Colonia en revisión. La cual es responsable de grietas y asentamientos diferenciales en la zona, perjudicando de esta manera con daños a los elementos estructurales de las viviendas de los habitantes.

Se realizó una evaluación general de vivienda con los formatos del CENAPRED y del Sistema Nacional de Protección Civil; de acuerdo al tipo de terreno y la cimentación, las características de la estructura, la vulnerabilidad, al sistema estructural (en muros, en marcos, en contraventeo, en refuerzos de estructuras de mampostería, del entrepiso y de la sección de las armaduras). Las viviendas estudiadas fueron sometidas a una revisión general de seguridad estructural de acuerdo al Reglamento de Construcciones del Municipio de Acapulco de Juárez, Gro. (1999-2002) y las Normas Técnicas Complementarias y Especificaciones de Construcción vigentes a nivel estatal, para determinar las afectaciones correspondientes a causa del sismo registrado en la

Ciudad de México el 19 de septiembre de 2017 para cada uno de los conjuntos habitacionales. [1].

Al sismo registrado el 19 de septiembre de 2017 con una magnitud de 7.1 grados en la escala de Richter de acuerdo al Servicio Sismológico Nacional (SSN) de México., con epicentro a 12 kilómetros al sureste de Axochiapan, Morelos [2]. Debido a este incidente se presentaron varias obras de construcción afectadas, entre ellas, un tramo de la autopista México-Acapulco así como varias viviendas con problemas en los muros, entresijos o columnas para las diversas colonias de Acapulco Guerrero. El aumento exponencial de la población en Acapulco y el limitado espacio de su expansión geográfica, ocasiona que muchos de estos decidan construir sus edificaciones en zonas de alto riesgo, ocasionando un inminente potencial; por este motivo se han presentado pérdidas humanas y económicas de vivienda. Sobre las calles Peña Blanca, Tecnológico y Sur 17 de la Colonia El Coloso de la Ciudad de Acapulco, encontramos diversas viviendas afectadas por los agrietamientos y asentamientos diferenciales en las áreas circundantes ocasionados por la falla geológica local.

2. CONDICIONES GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Las viviendas en revisión pertenecen al grupo de construcción B2, las cuales se ubican en la Colonia El Coloso de la ciudad de Acapulco, Guerrero, los cuales consisten en casas habitacionales de uno, dos y tres entresijos respectivamente. Las casas habitacionales están compuestas por muros de carga de mampostería confinada de tabicón de concreto y de muros de mampostería, confinadas con castillos, columnas, trabes y losa maciza de concreto reforzado $f_c = 250 \text{ kg/m}^2$.

2.1 Ubicación.

Las viviendas en revisión se ubican en la Colonia El Coloso de la ciudad de Acapulco, en las calles: Sur 17 para las V.E. No. 1 y 2. Peña Blanca para las V.E. No. 4. Tecnológico para las V.E. No. 3, 5, 6, 7, 8, 9 y 10. Las cuales colindan con las calles Jorge Ramírez, Etapa XXVI y Etapa XXII. Ver figura 1.

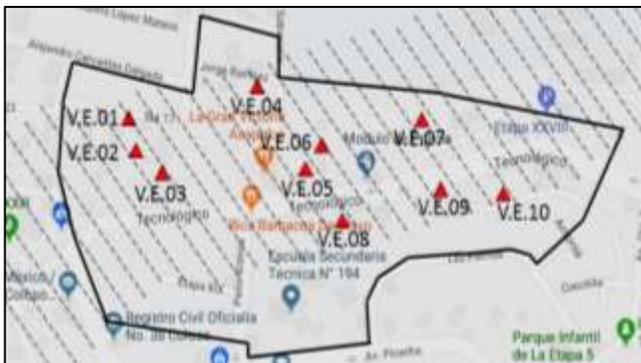


Figura 1 Ubicación de las viviendas estudiadas (V.E.), en Acapulco, Gro. Colonia El Coloso. (Google Maps, Febrero 2019).

2.2 Topografía de Acapulco.

2.2.1 Curvas de Nivel.

Las curvas de nivel para las viviendas estudiadas de la colonia El Coloso de Acapulco, Guerrero, ubicadas entre los 40 a 120 metros sobre el nivel del mar. Ver figura 2.



Figura 2 Curvas de Nivel de las Viviendas Estudiadas (V.E.), en Acapulco, Gro. Colonia El Coloso [4].

2.3 Geología de Acapulco.

2.3.1 Rocas geológicas.

La geología de las unidades habitacionales de la Colonia El Coloso en general del municipio de Acapulco de Juárez puede apreciarse en la Tabla 1 [4].

Tabla 1. Geología de Acapulco.

Periodo	Jurásico (47.28%), N/D (16.06%), Terciario (15.32%), Cuaternario (8.06%) y Cretácico (0.35%).
Roca	Metamórfica: gneis (47.28%) y mármol (0.28%). Ígnea intrusiva: granito (2.03%), granito-granodiorita (22.98%) y granodiorita (5.63%). Ígnea extrusiva: toba ácida (0.74%). Sedimentaria: caliza (0.07%) Suelo: aluvial (6.4%), litoral (1.47%) y lacustre (0.19%).

Las viviendas en revisión descansan sobre suelo de baja rigidez, conformado por arenas no cementadas. Pertenecen a un suelo tipo II de acuerdo al art. 208 del Reglamento de Construcción del Municipio de Acapulco de Juárez. En la Figura 3 se presenta la geología (clase de roca), en ella se puede apreciar la considerable falla local identificada que atraviesa la Colonia en estudio. Esta fractura geológica está produciendo movimientos del suelo importantes que conlleva a afectaciones a las obras de construcción de la zona y alrededores [4].

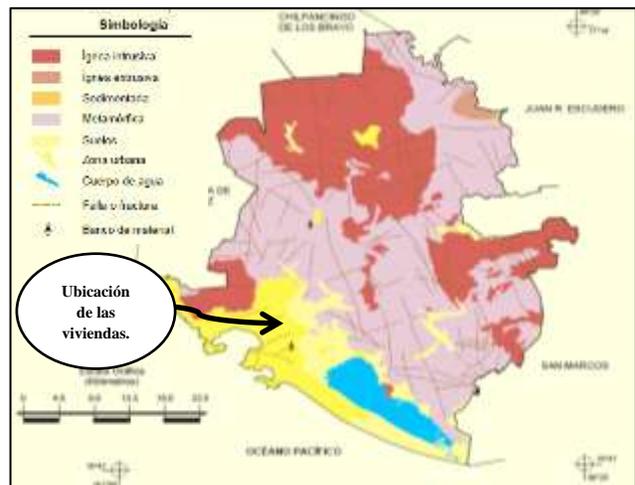


Figura 3 Mapa Geológico del Municipio de Acapulco de Juárez [4].

3. ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA VIVIENDA COLONIA EL COLOSO.

3.1 Estructuras Evaluadas.

La estructuración de las edificaciones para la zona de estudio en una edificación puede identificarse en dos tipos: El sistema estructural de muros de mampostería de tabicón de concreto confinados en las dos direcciones. También de estructuras de marcos rígidos conformados por trabes y columnas de concreto reforzado, así como de muros que trabajan en ambas direcciones [10]. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Estructuración de las viviendas.

Tipo de Estructuras	Estructuración.
De mampostería.	Mampostería confinada: Es aquella que esta reforzada con elementos de concreto reforzado verticales y horizontales, denominados como castillos y dalas. En la Figura 4 se esquematiza la mampostería confinada según indican la NTC del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (GDF, 2004b).
	Mampostería mal confinada: se define a este tipo de mampostería cuando a pesar de estar reforzada con castillos y dalas no reúna los requisitos solicitados por las NTC de Mampostería, en especial por la falta de refuerzo en el perímetro de todas la aberturas mayores a 60 cm.
	Con refuerzo interior: en caso de que en la mampostería no existan castillos y se identifique que está hecha con mampostería hueca y se trate de construcciones formales, se puede suponer que los muros cuentan con refuerzo interior.
	Sin refuerzo: cuando se tenga la certeza que el muro fue construido sin ningún tipo de refuerzo ni horizontal ni vertical.
De marcos (trabes y columnas).	Son sistemas estructurales formados por la conexión de elementos verticales (columnas) y horizontales (trabes). Además, dentro del grupo de marcos se incluyen aquellas estructuras conformadas por columnas y losas planas.

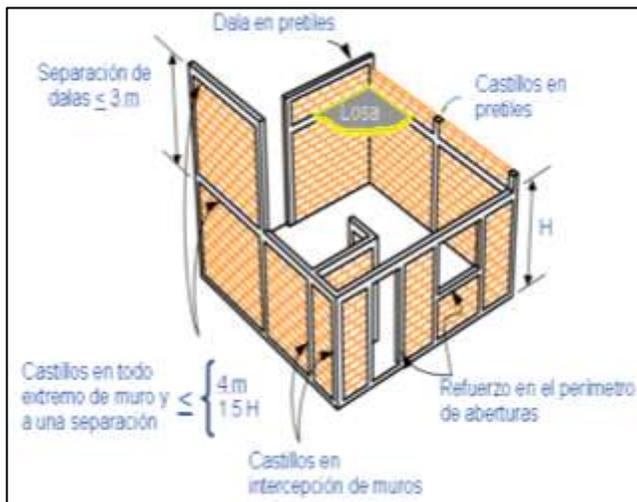


Figura 4 Mampostería confinada de una vivienda [10].

La aparición de fisuras o grietas en vigas, losas, columnas y muros, el desprendimiento del revestimiento, la inclinación de la estructura son algunos de los síntomas que se pueden apreciar visualmente y que permiten de una u otra manera determinar algún problema estructural. Un problema estructural es un obstáculo que impide el correcto desempeño de un elemento estructural ante un evento adverso, como la de un sismo, y puede incurrir en daños graves y

hasta catastróficos [3]. La revisión estructural realizada está enfocada al análisis de diez viviendas representativas de la colonia El Coloso de la Ciudad de Acapulco, por el motivo que las edificaciones presentaron daños en los muros, trabes, columnas y losas de refuerzo considerables para la zona.

3.2 Clasificación de grietas.

Las grietas en el concreto, en función de su tiempo de aparición son manifestaciones de que algo no ha estado bien en el proceso de construcción o de operación de una estructura. En lo que respecta a su origen, las grietas se suelen clasificar en las de origen físico, químico, mecánico y biológico. Para el caso en estudio, nos centraremos en las grietas de origen mecánico, las cuales son aquellas que aparecen debido a la interrelación de la estructura y el material, con las acciones sísmicas y geológicas de la zona [5]. De acuerdo a su ancho de abertura, podemos clasificarlas de la siguiente manera:

- Fisura: Abertura superficial en un elemento de concreto con ancho menor a 0.30 mm.
- Grieta: Abertura en un elemento de concreto con ancho mayor a 0.30 mm.
- Fractura: Daño de un elemento de concreto que fragmenta en partes independientes la estructura o partes de la misma.

3.3 Formato de Evaluación estructural.

La primera revisión estructural de las viviendas fue determinada por el formato de Captura de Datos para la Evaluación Estructural de Protección Civil, de la cual se realizó un llenado de la información general de cada uno de los inmuebles que presenta la ubicación geográfica, el uso de la estructura y el tipo de suelo. La vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad de daño que una estructura presenta frente a algún evento, sea este natural o antrópico, que lleve a la estructura a cualquiera de sus límites de funcionamiento, entre los cuales podemos encontrar irregularidades en planta y elevación. El daño de un elemento puede considerarse como la condición y grado de deterioro que presenta el mismo después de algún evento o a causa del uso propio del inmueble. La presencia de daño en una estructura siempre involucra un riesgo para sus ocupantes, por lo tanto es necesario evaluar este riesgo a fin de tomar las medidas necesarias para evitar o reducir la probabilidad de ocurrencia de esta situación. Para determinar el nivel de seguridad existente en una estructura dañada, es necesario considerar los problemas geotécnicos (grietas en el terreno circundante, hundimientos diferenciales y deslizamientos de ladera); así como de los daños presentados en columnas, trabes, losas, muros de mampostería y de concreto [10].

3.4 Datos obtenidos.

Los datos obtenidos de las viviendas de la colonia El Coloso, Acapulco, Gro., fueron registrados en los Formatos de Captura de Datos para Evaluación Estructural de Protección Civil. En la Tabla 3 podemos apreciar el año de construcción, la topografía del terreno y la sección de castillos y trabes de cada una de las viviendas.

Tabla 3. Datos obtenidos de las viviendas en revisión.

No.	Año de construcción	Sección de columnas (cm)	Sección de castillos (cm)	Sección de traveses (cm)	Sección de Entrepisos (m)	Topografía
1	1984	---	---	15x25	8.4x16.8	Ladera
2	1991	35x15	15x20	15x30	7.0x9.7	Ladera
3	1988	30x21	18x21	25x21	7.5x11.8	Planicie
4	1992	15x21	15x16	25x15	8.0x10.2	Ladera
5	2000	25x20	---	15x15	5.0x10.0	Ladera
6	1998	20x26	15x20	15x25	6.0x7.0	Planicie
7	1986	26x26	15x20	20x30	7.0x8.0	Ladera
8	1986	24x26	20x15	20x15	4.0x4.5	Planicie
9	2002	25x25	---	30x15	6.6x5.0	Ladera
10	1993	20x24	---	---	7.0x5.0	Ladera

En la tabla 4 podemos apreciar las cargas totales de la planta baja y de los entrepisos correspondientes para cada una de las viviendas; así como su cimentación, su área en planta y alturas respectivas. Cabe mencionar que algunas estructuras fueron construidas antes y poco después del sismo ocurrido en la Ciudad de México el 19 de septiembre de 1985 de magnitud 8.1 en la escala de Richter, sin la consideración de las NTC y del vigente Reglamento de Construcciones del Municipio de Acapulco de Juárez, Gro. (1999-2002) y de las Normas y Especificaciones de Construcción vigentes a nivel estatal, por lo que se prevén afectaciones estructurales en los elementos y un mal diseño sísmico.

Tabla 4. Datos obtenidos de las viviendas en revisión.

No	Peso de N1 (Ton)	Peso de N2, N3, N4 y N5 (Ton)	Peso Total (Ton)	Altura de N1 (m)	Altura de N2, N3, N4 y N5 (m)	Área de Entrepisos (m2)	Cimentación
1	160.31	158.01	799.25	2.30	2.30	132.00	Zap. aisladas
2	76.43	75.91	152.34	2.50	2.50	67.90	Zap. aisladas
3	83.03	---	83.03	2.40	---	88.50	Zap. aisladas
4	89.50	---	89.50	2.50	---	81.60	Zap. aisladas
5	58.80	---	58.80	2.50	---	50.00	Zap. Aisladas
6	53.00	50.84	103.84	2.50	2.50	42.00	Zap. Aisladas
7	65.31	67.29	197.91	2.50	2.50	56.00	Zap. aisladas
8	23.13	---	23.13	2.30	---	18.00	Zap. aisladas
9	43.79	41.47	129.05	2.50	2.8	33.00	Zap. aisladas
10	23.24	---	23.24	1.90	---	35.00	---

3.5 Importancia de los elementos estructurales de las viviendas en revisión.

Las estructuras de las edificaciones siempre estarán sujetas a fuerzas y cargas, algunas de ellas estarán siempre actuando en la edificación, como son las cargas a su mismo peso, como lo son las cargas muertas, las cargas vivas y los factores correspondientes para sismo [6]. Encontramos que después de la ocurrencia de un sismo y en base a los tiempos del manual del CENAPRED para la inspección de una estructura se requiere una inspección rápida de Nivel 1 para máximo 7 días, de Nivel 2 para máximo 3 semanas y de más de 1 mes para Nivel 3. Debido a los cortos tiempos para la elaboración de este artículo y a falta de información complementaria, material y equipo y de estudios de mecánica de

suelos. Solo nos concentraremos en los dos primeros niveles de revisión de la estructura. En la figura 6 podemos ver la prioridad en cada uno de los elementos estructurales para una edificación. En este caso deberemos cerciorarnos en dar una revisión estructural adecuada para las columnas y muros las cuales representarían una prioridad para este trabajo de investigación.

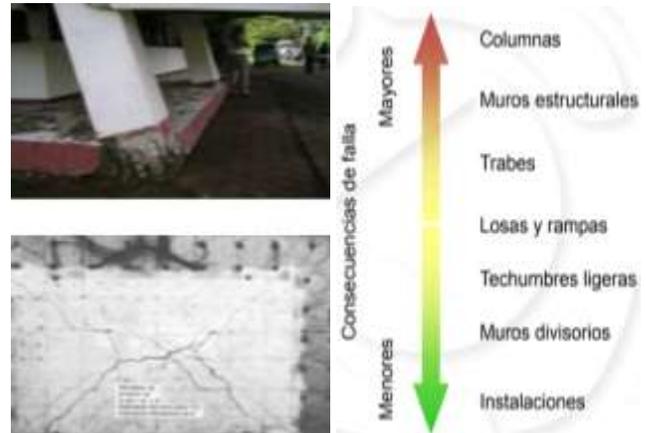


Figura 6 Importancia de los elementos estructurales en una construcción [6].

3.6 Daños observados en el terreno circundante.

Primeramente se pudieron observar agrietamientos y hundimientos en el pavimento asfáltico sobre la calle Peña Blanca, Tecnológico y Sur 17, de izquierda a derecha; ocasionados por la falla geológica local de mas de 5 km que atraviesa la Colonia Icacos y El Coloso. Ver figura 7.



Figura 7 De izquierda a derecha se puede apreciar los agrietamientos y hundimientos diferenciales en el pavimento asfáltico sobre la calle Peña Blanca, Tecnológico y Sur 17.

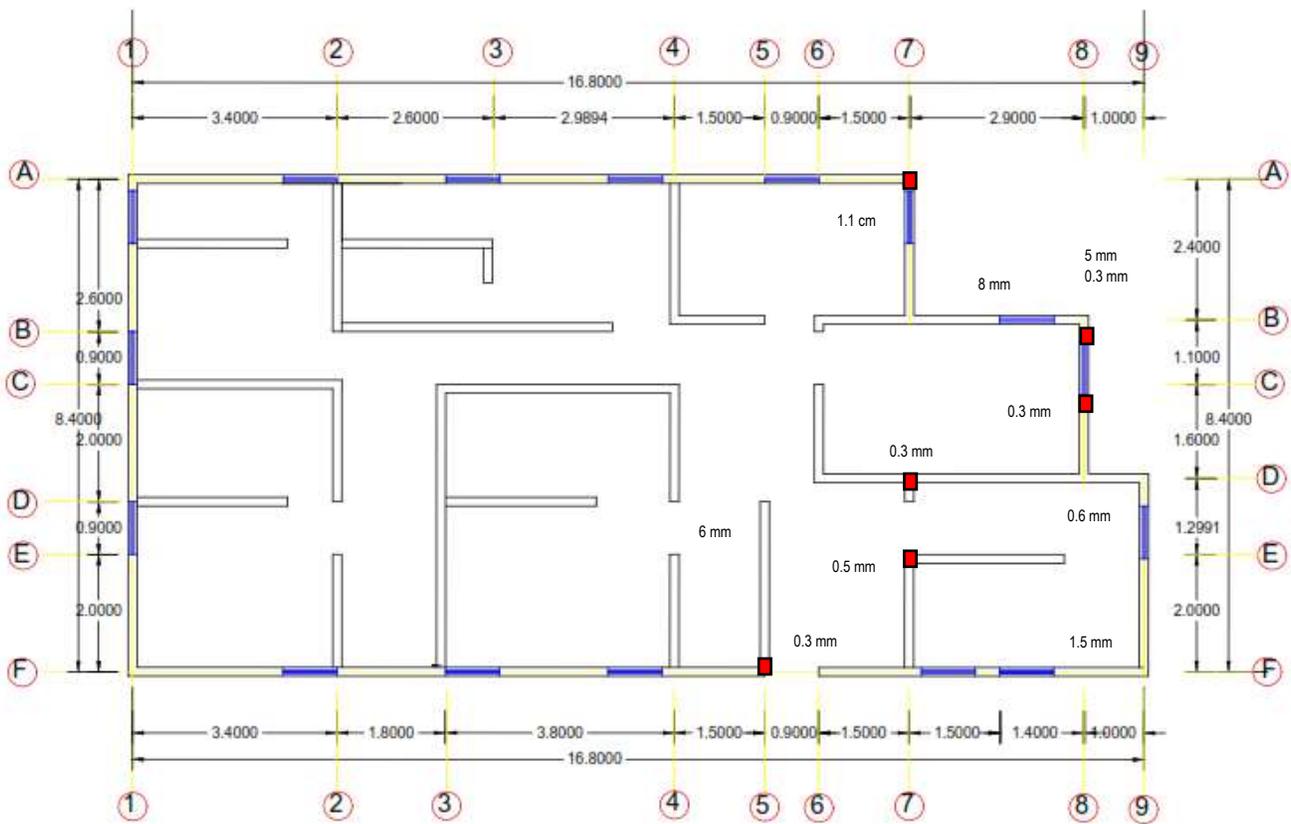


Figura 8 Plano Arquitectonico de la vivienda no. 1.

3.7 Daños estructurales en la vivienda 1.

La vivienda en estudio pertenece al grupo de construcción B2 y se ubica en la ladera de un cerro, además de que el suelo presenta problemas de erosión debido a se encuentra sobre una zona arenosa altamente permeable que no permite la entrada de corrientes de agua y humedad. La estructura cuenta con un área en la losa de refuerzo de 132 m², y está integrada de 5 entrepisos N1, N2, N3, N4 y N5 respectivamente con una carga de 160.31 toneladas por entrepiso; lo cual conduce a que posea una carga total de 800 toneladas conformada por la suma de las cargas muertas y cargas vivas de acuerdo al Reglamento de Construcciones de Acapulco (1999-2002). La estructura está conformada por traveses de concreto reforzado combinados con muros de mampostería de tabicón de concreto reforzadas interiormente. Esta solía ser una unidad departamental, pero a mención de las afectaciones estructurales, dejó su uso de unidad departamental para pasar a una unidad habitacional multifamiliar. En la zona podemos presenciar asentamientos diferenciales desde el eje 5 tramo A- F y del eje 9 tramo A-F, que afectan directamente a la cimentación y al suelo, formando grietas en el terreno circundante que combinadas con el poco acero de refuerzo transversal, la falta de confinamiento de los muros con cadenas de desplante, intermedias y de cerramiento; y de la ausencia de refuerzo de castillos y columnas; y del sismo del 19 de septiembre de 2017, ocasiono que se presentara agrietamientos desde los 0.3 mm a 1.1 cm en los entrepisos y muros de mampostería.

La estructura contiene una gran presencia de secciones abiertas (ventanas) sin confinar ni reforzar, lo que la hace vulnerable a movimientos telúricos. En ella se han observado los daños presentados en los muros de tabicón de concreto y entrepisos por cortante, por compresión, y por fracturas de refuerzo en los muros. Las fallas presentadas en los muros de tabicón de concreto mayoritariamente son por compresión debido al enorme peso axial que sostienen los muros sin el apoyo de traveses ni confinamiento de columnas. Además de presentar fallas por flexión, donde los agrietamientos pueden llegar a correr por la columna, solera y cimiento provocando una afectación total en los elementos estructurales. (Ver figura 9).



Figura 9 Estructuración de la vivienda no. 1.

3.8 Daños observados en la cimentación.

Las causas encontradas de los problemas estructurales en las unidades habitacionales de la colonia el Coloso de la Ciudad de Acapulco, Guerrero, pueden ser muy variadas. En algunas ocasiones puede presenciarse a simple vista, pero en otras ocasiones se requiere examinar cuidadosamente el problema desde la cimentación. Las columnas, traveses y muros durante toda su vida útil estarán expuestos a todo tipo de problemática causante de grietas o fisuras.

3.8.1 Apoyos a diferente nivel (laderas).

En la vivienda no. 1, 2, 4 y 9 se presentan apoyos de la cimentación en diferente nivel, debido a la topografía de la zona en revisión, las cuales provocan un comportamiento asimétrico ante los efectos de acciones sísmicas en la dirección de la pendiente, y efectos de torsión en la dirección ortogonal por la diferente rigidez de los marcos o muros debido al cambio de altura libre. Ver figura 10.



Figura 10 De izquierda a derecha se observa una representación de apoyos a diferentes niveles, así como de la vivienda no. 9.

3.8.2 Asentamientos diferenciales en la cimentación.

Las viviendas en revisión no. 1, 2, 4, 5, 8 y 10 se encuentran en una zona con grietas en el terreno circundante con presencia de asentamientos diferenciales que actúan verticalmente sobre la superficie del suelo, empujando de esta manera a la cimentación de las estructuras, lo que dio como resultado a la deformación de los muros, debido al escaso confinamiento de los marcos de concreto reforzado; así como de columnas cuyo apoyo se ha asentado y presentan fisuras por inclinadas (cortante) o por flexión que apuntan hacia el lado del terreno que no se ha deformado. Ver figura 11.

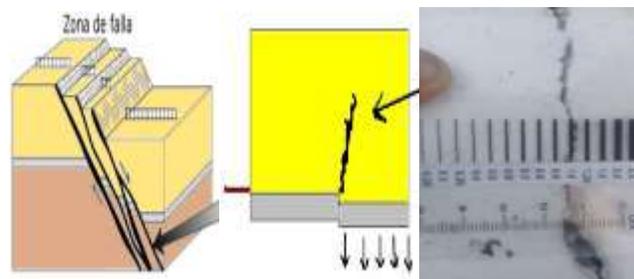


Figura 11 De izquierda a derecha se observa la zona de falla en la que se encuentran las estructuras, así como el efecto provocado en muros y columnas por asentamientos diferenciales. También una grieta por Flexión de 1 mm en la columna del eje 4 tramo C de la vivienda no. 4.

3.8.3 Fallas por cizallamiento.

Las viviendas en revisión no. 7 y 9 se encuentran en una zona de

cizalla, los cuales presentaron deslizamientos en paralelo pero en direcciones opuestas del terreno, lo que dio como resultado a la deformación por desplazamiento a lo largo de planos poco espaciados. Esto provocó un empuje a las zapatas corridas y el deslizamiento de los muros de tabicón de concreto que sin un confinamiento adecuado, trajo consigo fisuras y agrietamientos desde los 0.2 mm a 2.00 mm en muros y columnas. Ver figura 12.

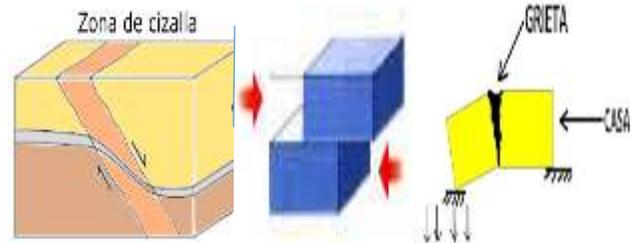


Figura 12 De izquierda a derecha se puede apreciar la zona de cizalla en la que se encuentra la estructura, así como la deformación del suelo mediante un esfuerzo frágil. Al lado observamos el efecto provocado en la vivienda por este tipo de falla.

3.9 Daños en los muros de tabicón de concreto.

Una falla frecuente que se logró observar fue que en los muros de mampostería no están confinados por columnas, castillos ni cadenas, sino que los muros fueron trabados en sus intersecciones con el posterior daño de los mismos. Se recomienda que las paredes de las fachadas se encuentren dentro de los ejes de las columnas para que estén confinadas, caso contrario se debe construir columnas.

3.9.1 Daño estructural por humedad.

Los muros y columnas de las viviendas en revisión no. 4 y 5 se encontraron expuestos a la humedad, lo que provocó en su interior una pequeña expansión y que al momento de evaporarse sufrieran una contracción que dañó al muro. Estos muros fueron afectados por los hundimientos diferenciales provocados por la falla geológica local y por el sismo del 19 de septiembre de 2017. Esto trajo consigo fisuras y agrietamientos que van desde los 0.3 mm a 1.10 cm en muros y columnas. Ver figura 13.

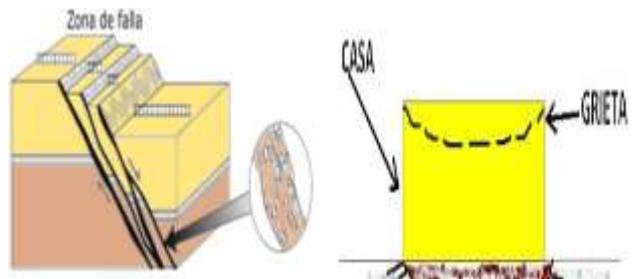


Figura 13 De izquierda a derecha se puede apreciar la zona de cizalla en la que se encuentra la estructura, así como la deformación del suelo mediante un esfuerzo frágil. Al lado observamos el efecto provocado en la vivienda por este tipo de falla.

3.9.2 Falla por cortante.

Se presentan fallas por cortante en los muros de tabicón de concreto en las viviendas observadas no. 1, 2, 7, 8, 9 y 10, dichos agrietamientos pueden llegar a correr por los castillos, columnas y cadena de desplante, provocando una afectación total en el elemento estructural. (Ver figura 14).

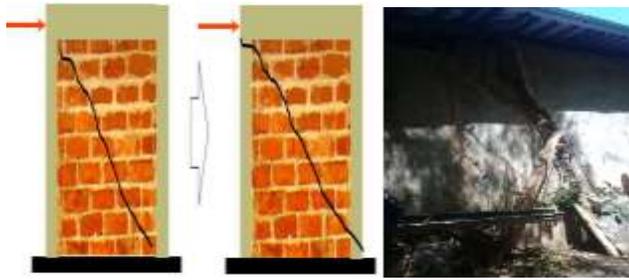


Figura 14 Se puede observar una representación de la falla por cortante en los muros de mampostería de las viviendas estudiadas, así como una grieta por cortante de 2.1 cm en el muro del eje 2 del tramo A de la vivienda no. 10.

3.9.3 Falla por deslizamiento.

Se presentan fallas por deslizamiento en los muros de tabicón de concreto en las viviendas observadas no. 4 y 5, dichos agrietamientos se presentan cuando la solera no trabaja de manera conjunta como marco; y pueden llegar a cortar la columna y provocar el deslizamiento de acero, provocando una afectación total en el elemento estructural. (Ver figura 15).

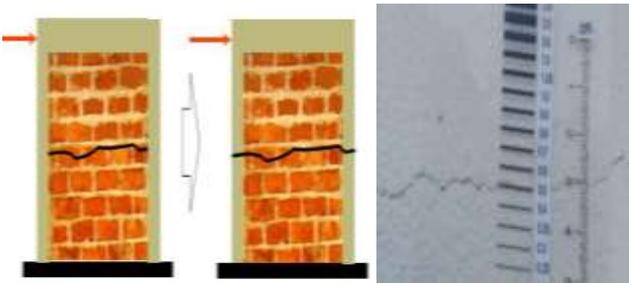


Figura 15 Se observa una representación de la falla por deslizamiento en los muros de mampostería de las viviendas estudiadas, así como de una grieta por deslizamiento de 0.5 mm en el muro del eje 3 tramo c de la vivienda no. 5.

3.9.4 Falla por Flexión.

Se presentan fallas por flexión en los muros que no aportan mucha resistencia lateral en las viviendas observadas no. 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 9, dichos agrietamientos pueden llegar a abrir o aplastar los castillos, así como que el talón comprimido pueda deslizarse. (Ver figura 16).

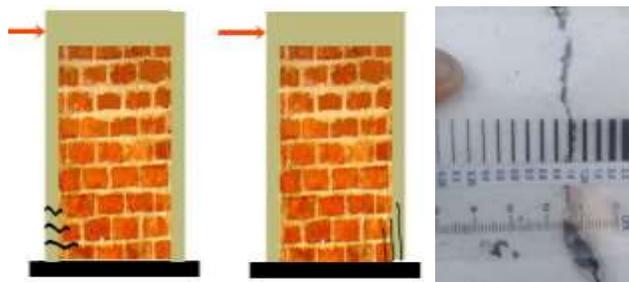


Figura 16 Se puede observar una representación de la falla por Flexión en los muros de mampostería, así como de una grieta por flexión de 1.0 mm en la columna del eje 4 tramo c de la vivienda no. 4.

3.9.5 Falla por Compresión.

Se presentan varias fallas por aplastamiento en la vivienda no. 1, debido a la enorme carga axial de 800 toneladas que se genera por la suma total de sus cargas muertas y cargas vivas. En la vivienda se presentaron deformaciones transversales que se mezclaron con cargas altamente puntuales en muros que no presentan

confinamiento con columnas, traveses y castillos, lo que la hizo vulnerable a los efectos gravitacionales y geológicos. (Ver figura 17).



Figura 17 De izquierda a derecha, se puede observar una representación de la falla por compresión en el muro de mampostería sin confinamiento de columnas y cadenas de la vivienda observada no. 1, así como grietas por compresión en columna de concreto reforzado de 6 mm y 1.10 cm en el muro de tabicón de concreto.

3.10 Fallas en columnas de concreto reforzado.

Se presentan los daños máximos observables en las columnas de concreto reforzado de las viviendas observadas no. 2, 4, 5, 6, 8 y 9, dichos agrietamientos son generados por diversos motivos. Entre ellas podemos mencionar:

- ✓ No cumplen con el porcentaje de acero mínimo requerido que indica la NTC de Acero; el cual indica que la relación entre el área del refuerzo vertical y el Área total de la sección no sea menor que 20 kg/cm^2 .
- ✓ La separación libre entre las barras longitudinales no sea inferior a 1.5 veces el diámetro de la barra, 1.5 veces el tamaño el Tamaño máximo del agregado, ni que 4 cm.
- ✓ Debido a que los porcentajes de refuerzo usados en las columnas son altos, a veces es necesario recurrir al empleo de haces o paquetes de barras, lo que significa un armado de barras. Según el Reglamento ACI 318-02, el factor es 1.20 para haces de tres barras y de 1.33 para haces de cuatro barras.
- ✓ En la zona de cambio debe colocarse refuerzo transversal capaz de resistir 1.5 veces la componente horizontal de la fuerza que actué en las porciones inclinadas de las barras de la columna.
- ✓ Pocas veces o ninguna vez debe colocarse porcentajes máximos de refuerzo longitudinal del orden del 6 por ciento de acuerdo a la NTC de Acero
- ✓ Debe considerarse siempre una excentricidad mínima igual a $0.05h \geq 2 \text{ cm}$, siendo h la dimensión de la columna en la dirección de flexión.
- ✓ Debe realizarse un buen dimensionamiento de la sección rectangular sujeta a compresión y flexión, de acuerdo la NTC de Acero, para no generar afectaciones por esbeltez [7].

Las falta de cumplimiento de las condiciones anteriores, provoca fallas en las columnas de concreto reforzado, las cuales pueden ser por compresión, por cortante, por adherencia y por flexión. Ver figura 18.

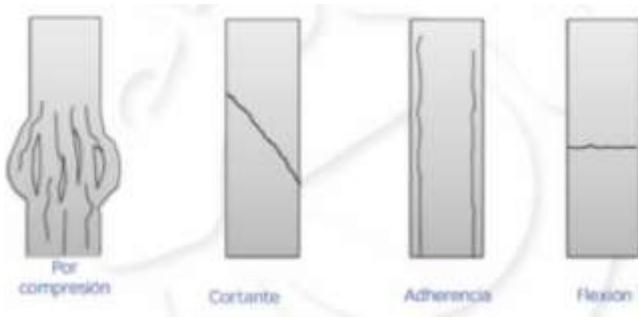


Figura 18 Tipos de fallas en columnas de concreto reforzado.

Las viviendas no. 2, 4, 5, 6, 8 y 9, presentaron fallas en las columnas ocasionadas por el incumplimiento de los requisitos anteriores, del poco acero de refuerzo transversal y de la falla geológica local, así como del mal estado del acero y concreto, ocasionaron que presentara agrietamientos y fisuras en las columnas y se extendiera hasta las trabes. Ver figura 19.



Figura 19 Se observa una grieta por flexión de 1.0 cm en la columna del eje 4 tramo D de la vivienda no. 6

3.11 Evaluación de los daños observados.

Para la evaluación de los daños observados en los elementos estructurales de la vivienda, haremos uso de la tabla 5, que maneja Protección civil.

Tabla 5. Evaluación de los agrietamientos.

Calificación	Descripción del daño estructural
No estructural	Daños únicamente en elementos no estructurales.
Ligero	Grietas menor a 0.5 mm de ancho en elementos de concreto. Grietas menor a 3.0 mm de ancho en muros de tabicón o block de concreto.
Fuerte	Grietas de 0.5 mm a 1.00 mm de ancho en elementos de concreto. Grietas de 3.0 mm a 1.00 cm de ancho en muros de tabicón o block de concreto.
Grave	Grietas de más de 1.00 mm de ancho en elementos de concreto. Grietas de más 1.00 cm de ancho en muros de tabicón o block de concreto. Desprendimiento del recubrimiento en columnas. Aplastamiento del concreto, rotura de estribos y pandeo del refuerzo en vigas, columnas y muros de concreto. Agrietamiento de capitales. Desplomes en columnas. Desplomes del edificio en más del 1% de su altura. Hundimiento o inmersión de más de 20 cms.

Los agrietamientos encontrados en las unidades habitacionales de la colonia el Coloso de la Ciudad de Acapulco, Guerrero, pueden ser muy variadas y con diferentes longitudes y fallas y calificación, desde ligeros hasta graves, los cuales se encuentran descritos en la tabla 6.

Tabla 6. Resumen de agrietamientos de las viviendas.

vivienda	Eje-tramo	Elemento dañado	Grietas (mm)	Tipo de Falla	Calificación
01	D-5	Muro	6.00	Por cortante.	Fuerte.
	F-5	Muro	0.30	Compresión.	Ligero.
	F-9	Muro y losa	1.50	Compresión.	Fuerte.
	D-7	Muro y losa	0.30	Por flexión	Ligero
	D-7	Muro	0.50	Por flexión	Fuerte
	D-9	Muro y losa	0.60	Por Flexión	Fuerte.
	C-8	Muro	0.30	Compresión.	Ligero.
	B-8	Muro	0.30	Por flexión	Fuerte.
	B-8	Muro y losa	0.50	Por flexión.	Fuerte
	B-8	Muro	8.00	Compresión.	Fuerte.
B-7	Muro	11.00	Compresión.	Grave.	
02	B-2	Muro	0.35	Por cortante	Ligero.
	B-3	Columna	0.30	Por Flexión.	Ligero.
03	B-3	Muro	2.00	Por Flexión	Ligero.
04	C-2	Muro	0.30	Por deslizamiento.	Ligero.
	C-4	Columna	1.00	Por Flexión.	Fuerte.
05	C-2	Columna	0.30	Por Flexión.	Ligero.
	C-3	Muro	0.50	Por deslizamiento.	Ligero.
06	D-4	Columna	10.00	Por adherencia.	Fuerte.
07	B-3	Muro	1.50	Por cortante.	Ligero.
	A-4	Muro	2.00	Por cortante.	Grave.
08	B-2	Muro	1.50	Por Flexión.	Ligero.
	B-3	Columna y trabe	1.50	Por cortante.	Grave.
09	B-3	Muro	0.30	Por cortante.	Ligero.
	A-2	Columna	2.00	Por Flexión.	Grave.
10	A-2	Muro	21.00	Por cortante.	Grave.

Las viviendas observadas no. 2, 3, 5, 9 solo presentan daños ligeros en su totalidad. Las viviendas observadas no. 4, 7 y 8 presentan daños medios con grietas menores de 1 cm en muros de tabicón de concreto y grietas menores a 1 cm en columnas de concreto reforzado. Las viviendas 1, 6 y 10 presentan daños graves con grietas mayores de 1 cm en muros de tabicón de concreto y grietas mayores a 1 cm en columnas de concreto reforzado. Para el caso en estudio, solamente se generaron daños en elementos estructurales de clasificación I. No se encontraron fallas por fluencia de las barras en tensión, ya sea por ensanchamiento y alargamiento del acero, por lo que no sopesaba su capacidad de carga ni deflexión permisible. Ver la figura 20.

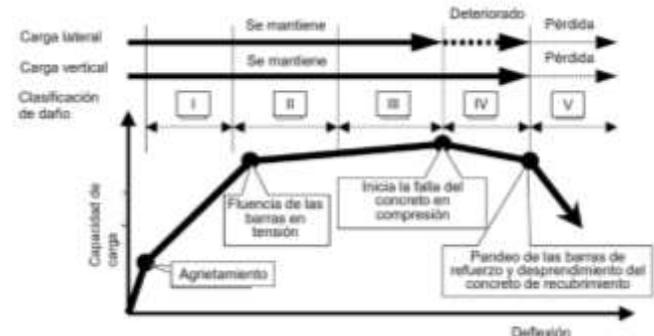


Figura 20 Evaluación de los grados de daño en elementos estructurales en una viga y columna [6].

4. RESULTADOS Y COMPARACIÓN CON EL MARCO NORMATIVO APLICABLE EN EL MUNICIPIO DE ACAPULCO DE JUÁREZ.

4.1 Normatividad considerada para la revisión de la seguridad estructural de las viviendas.

De acuerdo a la visita en la Dirección Municipal de Protección Civil ubicada en la calle Hornitos s/n, del Barrio de Petaquillas de Acapulco Guerrero, obtuvimos información proporcionada por la Delegación mencionada para el análisis y revisión de la seguridad estructural de las edificaciones en la colonia El Coloso del mismo Municipio. La metodología empleada para la revisión de la seguridad estructural de las viviendas de la colonia El Coloso de Acapulco Guerrero están basadas en los Manuales del CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) y del Sistema Nacional de Protección Civil; así como del Reglamento de Construcciones del Municipio de Acapulco de Juárez, Gro. (1999-2002) y las Normas Técnicas Complementarias y las Especificaciones de Construcción vigentes a nivel estatal.

4.2 Condiciones de regularidad.

Las viviendas en revisión se sometieron a condiciones de regularidad de acuerdo al artículo 179 del Reglamento de Construcciones del Municipio de Acapulco de Juárez, Gro. (1999-2002). En la tabla 4 se aplican las condiciones de regularidad de las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Sismo de la sección 5.1. Algunas viviendas no cumplen con varias condiciones pero aun así es regular de acuerdo a las NTC por Sismo en la sección 5.3.

4.3 Factor Q (Factor de comportamiento sísmico).

Se considerara como $Q=1.0$ a aquellas estructuras de muros de mampostería no confinados ni reforzados, como $Q=1.5$ a aquellas edificaciones estructuradas por muros de mampostería, y como $Q=2.0$ a aquellas estructuras con muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con o sin refuerzo horizontal, en base a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. Ver tabla 7.

Tabla 7. Factores de comportamiento sísmico y distorsiones límite para estructuras de mampostería.

Estructuración	Q	γ_{no}
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal ⁽¹⁾	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	(i)	(ii)
Muros de carga de mampostería confinada en combinación con otro sistema estructural de concreto o acero	(i)	(ii)
Muros de carga de mampostería de piezas huecas o macizas no confinados ni reforzados ⁽¹⁾	1.0	0.002
Mampostería de piedras naturales	1.0	0.002

4.4 Corrección de Q' por irregularidad.

Después de aplicar los cálculos correspondientes de las viviendas de la Colonia El Coloso, observamos que las edificaciones contienen diferentes casos de condiciones de regularidad. El Factor Q', que es el Factor de Corrección por irregularidad de acuerdo a la sección 5.5 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo.

En el momento de realizarse un análisis dinámico modal o estático, 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, por 0.7 cuando la estructura sea muy irregular según la sección, en ningún caso el factor Q' se tomará menor que 1.0 [8]. Esta se basara en la expresión: $Q' = Q \times F.C.R.$

4.5 Parámetros sísmicos.

Las viviendas en revisión de la Colonia el Coloso de Acapulco Guerrero se encuentran en una región de Tipo D (Altamente sísmica). Con esta zonificación, se determinaron los parámetros más relevantes para el diseño sísmico anotados en la Tabla 8. Las estructuras estudiadas son de tipo B2. En base a la geología anteriormente descrita podemos determinar que la zona de las edificaciones pertenece a un suelo tipo II de acuerdo al art. 208 del Reglamento de Construcción del Municipio de Acapulco de Juárez.

Tabla 8. Valores de parámetros sísmicos a_0 , c, T_a , T_b y r, estructuras del grupo B para distintas zonas sísmicas (Reglamento de Construcción del Municipio de Acapulco de Juárez, 1999-2002).

Zona	Tipo de suelo	a_0	c	T_a (s)	T_b (s)	r
D	I	0.5	0.5	0.0	0.6	1/2
	II	0.86	0.86	0.0	1.2	2/3
	III	0.86	0.86	0.0	1.7	1

4.6 Espectro de diseño sísmico.

Las fuerzas sísmicas que se calculan para el análisis están basadas en la historia sísmica del lugar. Es decir, la sismicidad de la zona se ve reflejada en los registros que, con el tiempo, se han realizado de los movimientos telúricos. Estos datos sirven como partida para suponer el comportamiento sísmico futuro y permiten, con un menor margen de error, considerar los efectos que estos eventos pueden tener en una estructura. El espectro de diseño sísmico es la envolvente de los sismogramas obtenidos de los sismos durante un periodo de tiempo determinado. En la gráfica de la figura 21 podemos apreciar cada característica de cada lugar y como está conformada por varios elementos.

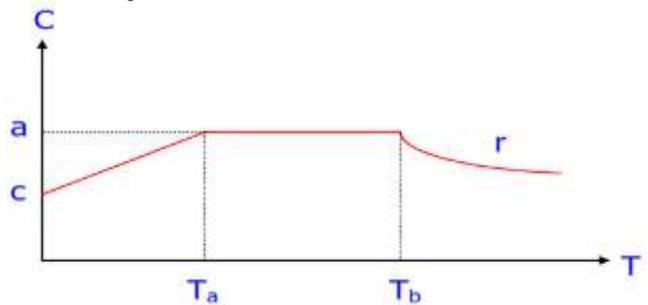


Figura 21 Elementos que integran el Espectro de diseño sísmico.

Nomenclatura:

- a= Coef. de aceleración del terreno, expresada como una fracción de la gravedad.
- c= Coeficiente sísmico de diseño, es el cociente de la fuerza cortante que se aplica en la base de la estructura (V_s) entre el peso total de la misma para el mismo nivel.
- C= Coeficientes de aceleración del terreno.
- Q= Factor de comportamiento sísmico
- T = Periodo Natural de Interés (s).
- a_0 = coeficiente de aceleración del terreno (m/s^2).
- T_a y T_b = Periodos característicos que limitan la meseta (s)
- r = Exponente que define la parte curva del espectro de diseño.
- g = aceleración de la gravedad ($9.81 m/s^2$).

4.6.1 Espectro de respuesta para la vivienda no. 1.

Para nuestro caso, el espectro sísmico, es calculado para las condiciones más críticas, que será para la vivienda no. 1, las cuales están representadas en la Tabla 9 y 10.

Tabla 9. Datos para el Espectro de diseño sísmico.

Zona sísmica	Tipo de suelo	a ₀	c	T _a (s)	T _b (s)	r	Q	F.C.R.	Q'	c'
D	I	0.86	0.86	0	1.2	2/3	1	0.8	0.8	1.075

De acuerdo a las M.D.O.C de la C.F.E. sección 3.3.2, el valor de a, dependerá de acuerdo al valor obtenido en las siguientes expresiones:

$$a = a_0 + (c - a_0) * \frac{T}{T_a}; \text{ si } T < T_a$$

$$a = c; \text{ si } T_a \leq T \leq T_b$$

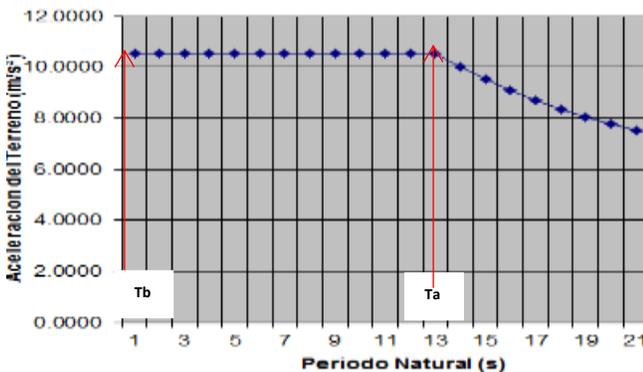
$$a = c * \left(\frac{T_b}{T}\right)^r; \text{ si } T > T_b$$

Tabla 10. Aceleraciones del Terreno.

T (s).	a.	a x g (m/s ²)	T (s).	a.	a x g (m/s ²)
0.00	1.0750	10.5458	1.10	1.0750	10.5458
0.10	1.0750	10.5458	1.20	1.0750	10.5458
0.20	1.0750	10.5458	1.30	1.0191	9.9978
0.30	1.0750	10.5458	1.40	0.9700	9.5158
0.40	1.0750	10.5458	1.50	0.9264	9.0881
0.50	1.0750	10.5458	1.60	0.8874	8.7053
0.60	1.0750	10.5458	1.70	0.8522	8.3605
0.70	1.0750	10.5458	1.80	0.8204	8.0479
0.80	1.0750	10.5458	1.90	0.7913	7.7630
0.90	1.0750	10.5458	2.00	0.7647	7.5020
1.00	1.0750	10.5458	2.10	0.7403	7.2619

Las aceleraciones del terreno expresadas en m/s², y el Periodo Natural de Interés están determinados en la gráfica 1, que corresponde al espectro de diseño sísmico.

Gráfica 1. Espectro sísmico.



La meseta de la gráfica del espectro sísmico está limitada por Ta=0 seg. y Tb=13 seg., respectivamente. Podemos observar que la aceleración del terreno para la meseta se encuentra en una aceleración constante del terreno de 10.5458 m/s².

4.7 Método estático.

De acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por

Sismo, para diseñar una estructura mediante un análisis por sismo podemos escoger entre los siguientes tres métodos:

El método simplificado, establecido en el RCDF, da como resultado un análisis poco minucioso, por lo cual no se considera para este documento. Sin embargo, es recomendable emplearlo para estructuras pequeñas y de importancia menor debido a la simplicidad del cálculo. El método estático, también llamado de fuerza lateral equivalente, sustituye la fuerza sísmica lateral por una fuerza estática equivalente. Con él, la estructura se diseña para resistir una fuerza aplicada en el terreno igual a la constante Cs (coeficiente sísmico de diseño) y se multiplica por el peso total de la estructura, efecto que se transmite a cada nivel de la misma. Cs es una función de las condiciones del suelo y de la estructura. Esto es, la situación regional y geológica del suelo y la importancia, periodo natural, ductilidad y rigidez de la estructura entre otros. El método dinámico, o de análisis modal, permite la determinación de la respuesta de una estructura, diseñada estáticamente, bajo la acción de una fuerza dinámica. Con ello se puede valorar la seguridad de esa respuesta y, de ser necesario, modificar el diseño de la edificación para satisfacer el comportamiento que se busca en una estructura ante tales acciones. En el método dinámico, existen dos maneras de encontrar el espectro de respuesta de una estructura: el método elástico y el inelástico.

La normativa NCSE-02 desarrolla un método simplificado de cálculo de la respuesta sísmica máxima para los casos más usuales de edificios, cuya aplicación es adecuada para estructuras que cumplen los siguientes requisitos: El número de plantas sobre rasante es inferior a veinte, la altura del edificio sobre rasante es inferior a sesenta metros y existe regularidad geométrica en planta y en alzado, sin entrantes ni salientes importantes [9].

Para el caso en estudio, se eligió el método de análisis estático, debido a que se tratan de estructuras que están en función de la falla geológica, cimentación, ductilidad y rigidez de la estructura. Son edificaciones medianas y chicas del grupo B, que poseen una altura no mayor a 30 m. Ubicadas sobre suelo blando Tipo I.

4.8 Fuerza cortante actuante para un Sísmico (VAi).

Debe mencionarse que las fuerzas cortantes laterales obtenidas no se consideran para diseñar; esto sucede porque dichas cantidades se toman como supuestas con la finalidad de obtener las Fuerzas cortantes resistentes en los entrepisos de los marcos y elementos analizados. En realidad, las fuerzas sísmicas que se aplican en los niveles de la estructura deben ser distribuidas, de acuerdo con la geometría de la planta, entre los marcos existentes. Este procedimiento permite calcular el coeficiente "k" de rigidez en cada nivel para cada marco.

4.9 Factor de corrección (Si).

El Factor de corrección (Si) considera los problemas estructurales derivados a su construcción, en cuanto a la estructuración de la planta, estructuración en elevación, la cimentación, la ubicación y el deterioro de la edificación. El Valor Si está compuesto del producto de los 5 factores anteriores correspondientes, siendo la expresión:

$$S_i = q_1 \times q_2 \times q_3 \times q_4 \times q_5.$$

Los criterios de calificación para cada uno de los factores q_i pueden ser alto de 0.8, medio de 0.9 y bajo de 1.0, de acuerdo a la Tabla 11.

Tabla 11. Factores de Corrección.

Concepto	q_i		
	0.80	0.90	1.00
I Estructuración en planta q_1	$e/B > 20\%$ $DA > 30\%$	$10\% < e/B \leq 20\%$ $10\% < DA \leq 30\%$ $LI > 3$	$e/B \leq 10\%$ $DA \leq 10\%$ $LI \leq 3$
II Estructuración en elevación q_2	$DA > 30\%$	$10\% < DA \leq 30\%$ PB flexible	$DA \leq 10\%$
III Cimentación q_3	$d > 2\%$ $h > 40$ $101 > 0.001$	$1\% < d \leq 2\%$ $20 < h \leq 40$ $0.004 < 101 \leq 0.001$	$d \leq 1\%$ $h \leq 20$ $101 \leq 0.004$
IV Ubicación q_4	$vH < 2e$	$e \leq vH < 2e$	$vH \geq 2e$
V Deterioro q_5	> 30 años Daño fuerte Reparación mayor	18 a 30 años Daño ligero Reparación menor	< 18 años Daño no estructural

Los factores de corrección q_i obtenidos para cada una de las viviendas de la Colonia El Coloso pueden apreciarse en la Tabla 14. Con estos valores es posible calcular El Factor de Corrección S_i y determinar el coeficiente “ k ” de rigidez en cada nivel para cada marco y elemento estructural.

4.10 Fuerza cortante resistente en el entrepiso V_{Ri} .

Para la determinación de la Fuerza cortante resistente (V_{Ri}) de cada uno de los entrepisos, se consideraran los siguientes elementos estructurales:

- Muros de mampostería (m).
- Columnas cortas (cc).
- Muros de concreto (M).
- Columnas (c).

Considerando una falla de entrepiso localizada en estos elementos estructurales, se calculara la Fuerza cortante resistente bajo la combinación de la resistencia de los elementos estructurales anteriores, mediante la expresión:

$$V_{Ri} = [\alpha_1 (0.7 V_m + V_{cc}) + \alpha_2 V_M + \alpha_3 V_c] F$$

Siendo

V_r : Es la Fuerza cortante resistente del elemento tipo r .

α_u : Factor de Participación.

F : Factor de corrección por ductilidad.

Siendo $F = 1.0$, si $V_{cc} = V_m = 0$

$F = 0.8$, si $V_{cc} \neq 0$, o $V_m \neq 0$

El factor de ductilidad F permite considerar la reducción de ductilidad que representa la falla frágil de las columnas cortas. Mediante los factores de participación α_u se toma en cuenta el desfaseamiento en las resistencias máximas de los elementos estructurales, debido a sus diferentes rigideces. Por otra parte, en la figura 22 se puede apreciar que no necesariamente se alcanza la resistencia máxima de la estructura, cuando fallan los elementos más rígidos en el punto A, por lo cual es necesario analizar los otros modos de falla B y C, cuidando siempre que antes no se pierda la estabilidad de la estructura. Esto implica en algunos casos, la necesidad de analizar hasta tres posibles modos de falla para determinar el coeficiente de resistencia.

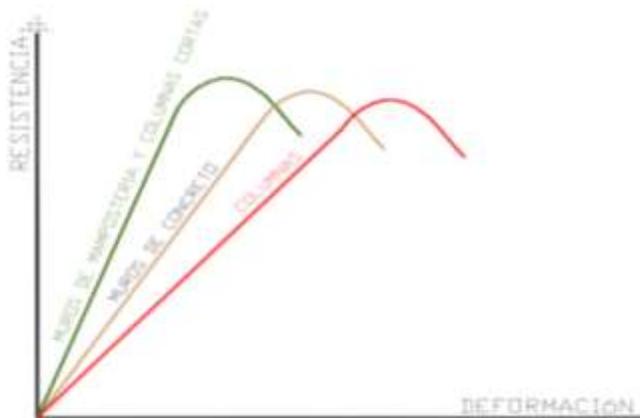


Figura 22 Curvas resistencia-deformación para distintos elementos estructurales.

Los valores de contenidos α_u en la tabla 12, consideran conservadoramente que la contribución de los elementos fallados desaparece por completo.

Tabla 12. Factores de resistencia.

Punto	α_1	α_2	α_3
A	1.0	0.7	0.5
B	0.0	1.0	0.7
C	0.0	0.0	1.0

La resistencia de los elementos estructurales se obtiene de multiplicar las áreas netas de sus secciones por los esfuerzos resistentes correspondientes:

$$V_r = v_r \times A_r$$

Siendo

V_r : Es el Esfuerzo resistente al corte de los elementos tipo r .

A_r = Área Total de elementos tipo r en la dirección considerada.

Los valores considerados para los esfuerzos resistentes se han obtenido de elementos estructurales típicos que son pertenecientes a estructuras existentes en la Ciudad de México. Los cuales pueden apreciarse en la tabla 13.

Tabla 13. Valores de Esfuerzos resistentes de elementos estructurales.

Elemento Estructural	Valores	Condicionamientos
Muros de mampostería.	$v_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$	Ninguno.
Columnas cortas.	$v_{cc} = 15.0 \text{ kg/cm}^2$	Ninguno.
Muros de concreto	$v_M = 20.0 \text{ kg/cm}^2$	Con columnas en los extremos.
	$v_M = 16.0 \text{ kg/cm}^2$	Con una columna de extremo.
	$v_M = 12.0 \text{ kg/cm}^2$	Sin columnas en los extremos.
Columnas	$v_c = 10.0 \text{ kg/cm}^2$	$2 < H/h \leq 6$
	$v_c = 7.0 \text{ kg/cm}^2$	$6 < H/h \leq 10$
	$v_c = 5.0 \text{ kg/cm}^2$	$10 < H/h$

Para muros de concreto, la longitud L no se considerara menor a 45 cm; y para columnas podemos considerar su altura no restringida cuando atraviesan los muros de mampostería o concreto. Ver imagen 23.

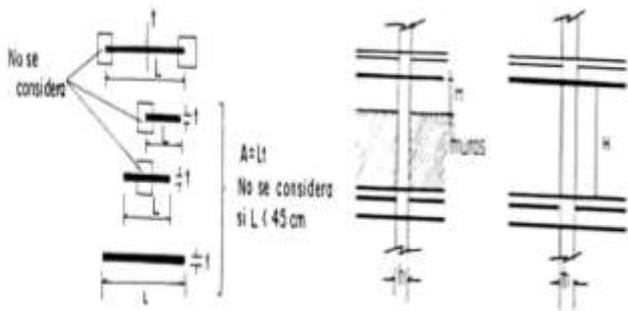


Figura 23 A la izquierda se puede apreciar las restricciones de muros de concreto y a la derecha, las restricciones para columnas.

4.11 Coeficiente sísmico reducido por ductilidad, correspondiente a la Falla (k).

El nivel de evaluación 2 del CENAPRED para estructuras afectadas después de un sismo, se basa en la obtención del Coeficiente sísmico reducido por ductilidad, correspondiente a la Falla (k) para ambas direcciones horizontales de cada entrepiso (x,y). De acuerdo a los parámetros anteriormente calculados, es posible obtener este valor, mediante la expresión:

$$K = VR_i \times S_i / VA$$

Siendo

K: representa el valor del coeficiente sísmico reducido por ductilidad, correspondiente a la falla.

VR: fuerza cortante resistente en el entrepiso i.

Si: factor de corrección.

VAi: fuerza cortante actuante, para un coeficiente sísmico reducido por ductilidad unitario.

El menor valor del coeficiente de resistencia define el entrepiso y la dirección más críticos, y es adoptado como representativo de toda la estructura. Los coeficientes de menor valor para cada una de las viviendas de la Colonia El Coloso se pueden apreciar en la Tabla 14.

Tabla 14. Datos obtenidos de las viviendas en revisión.

Vivienda	q1	q2	q3	q4	q5	si	k/si	k
1	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.512	0.4930	0.2524
2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.9	0.576	0.3001	0.1728
3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.512	0.9462	0.4844
4	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.900	0.5953	0.5358
5	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9	0.720	0.8903	0.6410
6	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.900	0.5732	0.5158
7	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.512	0.3965	0.2030
8	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.640	0.9095	0.5821
9	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.512	0.4554	0.2332
10	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.640	0.2445	0.1565

4.12 Evaluación de la Categoría de seguridad.

Después de haber obtenido los menores valores de los coeficientes de resistencia "k" de cada una de las viviendas en revisión, es necesario determinar el coeficiente correspondiente a la zona donde se encuentre el área en revisión de las edificaciones, el cual se denominara como "KZ", que tendrá el mismo valor del coeficiente sísmico obtenido anteriormente en los parámetros sísmicos de la Tabla 8. En la que $KZ = c = 0.86$, para estructuras del grupo B en suelo Tipo II, de acuerdo al Reglamento de Construcción del Municipio de Acapulco de Juárez, (1999-2002).

Para clasificar el nivel o categoría de seguridad estructural de cada una de las edificaciones de la colonia El Coloso de Acapulco, Guerrero, se empleó el criterio de la tabla 15, en la que la categoría 2 significa propiamente que la resistencia de la estructura no cumple y es menor que la sollicitación sísmica a la que se le sometió.

Tabla 15. Clasificación de la categoría de seguridad.

Categoría	Coefficiente de resistencia
1	$K_i Q \geq KZ$
2	$K_i Q < KZ$

Las estructuras en revisión de la colonia El Coloso se sometieron a las condiciones de seguridad, donde se determinó que la vivienda no.5 cumple con las condiciones de la categoría 2 de la tabla 15, debido a que el coeficiente sísmico obtenido evaluado por la capacidad sísmica de la estructura resultó mayor que el que exige el Reglamento de Construcciones para el Municipio de Acapulco (1999-2002). Las demás viviendas en revisión no cumplieron con la categoría 2, por lo que se determina que son edificaciones con una capacidad sísmica estructural inferior al exigido en el Reglamento, por lo que se debe proceder a realizar una evaluación más detallada con el Nivel 3. (Ver Tabla 16).

Tabla 16. Seguridad Estructural sísmica de las Viviendas.

No.	Niveles	K (Coeficiente de resistencia)	Q (factor de ductilidad)	C (Coeficiente sísmico de la resistencia de la estructura).	Seguridad Sísmica.
01	5	0.2524	1.0	0.2524	No cumple
02	2	0.1728	1.5	0.2593	No cumple
03	1	0.4844	1.5	0.7267	No cumple
04	1	0.5358	1.5	0.8037	No cumple
05	1	0.6410	1.5	0.9615	Cumple
06	2	0.5158	1.5	0.7738	No cumple
07	3	0.2030	1.5	0.3045	No cumple
08	1	0.5821	1.0	0.5821	No cumple
09	3	0.2332	1.5	0.3497	No cumple
10	1	0.1565	1.0	0.1565	No cumple

4.13 Observaciones y Recomendaciones.

De acuerdo a la opinión del Investigador, Catedrático de la Facultad de Ingeniería de la UAGro, Roberto Arroyo Matus, para el tipo de suelo II de la colonia el Coloso, se presentan coeficientes sísmicos de resistencia de las viviendas inferiores a 1.30, no pudiendo ser estas mayores debido a las condiciones geológicas y sísmicas en las que se encuentran. Por lo que se recomienda realizar pruebas de mecánica de suelos y de estructuras de una manera más detallada, haciendo uso de un detector o escáner de acero, que sea capaz de determinar el diseño de acero de cada uno de los elementos de concreto reforzado y verificar que se hayan cumplido con el plano estructural de las edificaciones. Se debe verificar que no existan varillas verticales a más de 70 cm y reforzamiento estructural a cada 3 hiladas, de acuerdo a las NTC de mampostería. En caso de no cumplir con los requerimientos anteriores, se procederá a realizar una propuesta de análisis estructural en base a los estudios de mecánica de suelos y de concreto reforzado.

4.13.1 Estructuración en Planta.

Se recomienda no construir planta baja flexible para estructuras mayores o iguales a dos entrepisos, que los marcos o muros lleguen a la cimentación, no restringir la altura de elementos de confinamiento mediante pretilas o muros, evitar construir con

sistemas de entrepiso inclinados, así como de evitar la concentración de grandes masas en pisos superiores.

4.13.2 En cimentación.

En la cimentación se detectaron desniveles y desplomes en algunas viviendas con más del 5%, así como hundimientos diferenciales con más de 20 cm para columnas de concreto reforzado. No se recomienda el uso de zapatas aisladas a diferentes niveles en el sentido vertical debido al amplio movimiento de la falla geológica local y de las zonas de cizalla. Debido al exceso de zapatas aisladas en la región, es necesario considerar reforzar las zapatas aisladas mediante contratraveses en consideración de las cuantías de acero y de los esfuerzos de carga especificados en el Capítulo VIII, del diseño de las cimentaciones, del Reglamento Municipal en apoyo a la NTC de acero y de concreto. Antes de su construcción, es preferible estabilizar el terreno con asfalto o cemento Portland en proporción de acuerdo a la norma AASHTO y compactar el suelo en capas de 20 cms.

4.13.3 En trabes.

No se detectaron problemas estructurales ni agrietamientos graves en las trabes de concreto reforzado. Sin embargo, en el caso de la vivienda no. 1, considerar aumentar la sección de la viga añadiendo concreto reforzado de manera longitudinal y transversal. También hacer uso de refuerzo metálico mediante chapas adheridas con resina epoxica, así como de la aplicación de láminas de fibra de carbono conforme a la Norma ACI 530-R y a las especificaciones vigentes, en caso de ser necesario.

4.13.4 En muros.

De acuerdo a los análisis sísmo resistentes en los entrepisos críticos considerar nuevos muros de corte para incrementar la capacidad sísmo resistente. También a los muros existentes verificar incrementar la resistencia al corte mediante ganchos de 90°, adheridos a resina epoxica; también así como incrementar la resistencia al corte y flexión de los muros existentes, añadiendo elementos por una o dos caras y elementos de confinamiento. En caso que los muros de mampostería contengan fallas estructurales graves, se deberá determinar el reemplazar los elementos por unos nuevos. Asimismo, confinar los muros de mampostería con marcos de concreto reforzado.

4.13.5 En columnas.

Evitar el uso de columna fuerte-viga débil, en la que las vigas sean más rígidas y resistentes a flexión que las columnas; así como de conexiones en vigas y columnas que presenten concentraciones elevadas y condiciones complejas de esfuerzos. Reforzar mediante encamisamiento las columnas que no presenten daño estructural, incrementando de esta manera la capacidad resistente y la ductilidad. Así como el confinamiento de columnas mediante mantas de fibra de carbono, adheridos mediante resina epoxica. Así como considerar los puntos expuestos en la sección 3.2.8 de este artículo, y de las normas y especificaciones vigentes para la zona en revisión.

5. CONCLUSIONES.

Para el presente estudio de seguridad estructural se determinaron factores de corrección, entre 0.5 a 0.9 para las viviendas en revisión de la Colonia El Coloso de Acapulco, Guerrero, evaluados mediante la estructuración en planta, estructuración en elevación, en la cimentación, en la ubicación y el deterioro de las

estructuras. Se observó que para las edificaciones del área en estudio es necesario determinar la capacidad sísmo resistente conforme a las normas y especificaciones correspondientes para la zona de estudio. En general las fallas y daños observados en los elementos estructurales son en su mayoría ocasionados por la capacidad sísmo resistente de las edificaciones que por la falla geológica que atraviesa el sitio analizado e identificado en la Carta Geológica del Municipio de Acapulco de Juárez. Las afectaciones a las viviendas en revisión se consideran en su estado límite de servicio, puesto que solamente se han observado asentamientos en la cimentación, de acuerdo al artículo 227 del Reglamento de construcciones de Acapulco (1999-2002).

Se recomienda que para reparar daños ligeros en estructuras se requiere una intervención estructural en la reparación de las juntas de concreto e inyección de resina epoxica en las grietas de los elementos estructurales. Para daños moderados es necesario la construcción de vigas de confinamiento reforzado y el confinamiento de las aberturas (puertas y ventanas), con el reemplazo de muros no estructurales por muros de carga de tabicón de concreto; así como de la costura de barras de acero para columnas con concreto en corrosión y acero oxidado. Para daños graves es necesario realizar un análisis estructural más detallado en los elementos estructurales (Nivel 3), y determinar las reparaciones estructurales necesarias, entre las cuales pueden considerarse: inyección de resina epoxica en grietas no mayores a 5 mm, reemplazo de acero y concreto de refuerzo, confinamiento de muros de tabicón de concreto; así como de reemplazar, reforzar o aumentar la sección de los elementos estructurales mediante recubrimientos y acero de refuerzo, de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias y especificaciones del municipio de Acapulco, Guerrero.

6. RECONOCIMIENTOS.

La elaboración del presente artículo fue posible gracias al apoyo dado principalmente por mi director de artículo y revisores asignados para el escrutinio de esta investigación. Asimismo a las personas que indirectamente contribuyeron a la realización de este documento.

7. REFERENCIAS.

- [1] Reglamento de Construcciones del Municipio de Acapulco de Juárez, Gro., (1999-2002), pág. 185.
- [2] Pérez Gavilán J.J., Aguirre J. y Ramírez L., Sísmicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México, 2018.
- [3] Jacqueline Vanessa Ochoa Román y Franklin David U.M., Estudio de la seguridad sísmica y diseño del reforzamiento estructural de una vivienda de tres pisos, 2014.
- [4] INEGI, Prontuario de Información geográfica del Municipio de Acapulco de Juárez, Gro, 2009.
- [5] Instituto Mexicano Del Cemento Y Del Concreto (IMCYC), Artículo Daños en el Concreto: Apuntes de como evaluarlos, 2012.
- [6] CENAPRED, Manual de Evaluación de la seguridad estructural de edificios, 24 de Junio de 2016, Pág. 167.

- [7] González Cuevas y Robles Fernández, Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado, cuarta edición, 2011, Limusa, pág. 521, pág. 802.
- [8] SMIE, Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, 2017, pág. 45.
- [9] A. H. Barbat, Calculo y diseño sismorresistente de edificios. Aplicación a la Norma NCSE-02, Monografía CIMNE, Barcelona España, 2005, Pág. 200.
- [10] CENAPRED, Manual del Formato de Captura de Datos para la Evaluación Estructural, 2011.