EL SISMO MEXICALI DEL 2010

Joel Martinez Martinez[1]

RESUMEN

A consecuencia del sismo con magnitud de 7.2 grados ocurrido el pasado 4 de abril en Mexicali, B.C. un gran número de edificaciones sufrieron daños tanto en elementos estructurales como no estructurales. En este documento se hace una breve descripción de los tipos de daño más comunes en algunas de las edificaciones de Mexicali, tales como escuelas, viviendas, edificios industriales, edificios públicos, e infraestructura. En general se describe el patrón de daño predominante de cada uno de los tipos de estructuras, así como también algunas de las causas del daño según lo observado con las inspecciones realizadas.

ABSTRACT

As a result of the 7.2Mw earthquake occurred the 4th of April in Mexicali, B.C. a large number of structures were damaged; the damages include both, structural and non-structural elements. In this document are described the damage patterns that were observed in schools, houses, industrial and public buildings, and infrastructure. In addition, a description of the possible causes of failure determined according with the inspections carried out.

INTRODUCCIÓN

Las ciudades de Mexicali Baja California, Calexico y El Centro California están situadas en una zona geográfica rodeada por diversas fallas, siendo las de mayor riesgo la falla Imperial, la falla Cerro Prieto, y la falla de la laguna salada, las tres capaces de producir sismos con magnitud mayor a 7 grados (Mw). La falla Imperial fue donde se produjo el sismo de El Centro de 1940 con una magnitud de 7.1° y también fue la causante de un sismo de 6.6° en 1979. La falla de Cerro Prieto fue la causante del sismo de 7.1° en 1934, el sismo del Golfo de 1966 con magnitud de 6.3°, el sismo de Victoria de 1980 con magnitud de 6.1°, la falla de Laguna Salada se asocia con un sismo de 7.5° ocurrido en 1892 (Cruz-Castillo, 2002), y esta misma falla fue la causante del sismo ocurrido el pasado 4 de abril con magnitud de 7.2°.

La información con la que se cuenta del sismo en México, es la obtenida por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), encargado de la red sismica del noroeste de México (RESNOM). Sin embargo, al momento del sismo el CICESE solamente tenía sismógrafos habilitados en el Valle de Mexicali, esto es, en la zona rural al sur de la ciudad. En la Figura 1 se muestra una vista satelital, obtenida en Google, de Mexicali, B.C., Calexico y El Centro, California, donde también se muestran algunas de las estaciones de registro del CICESE, indicando la aceleración máxima del terreno registrada en cada una. Las aceleraciones máximas del suelo en el valle de Mexicali varían de una estación a otra dependiendo su distancia al epicentro, como es de esperarse, sin embargo para estaciones ubicadas en una distancia menor de 30km las aceleraciones máximas del suelo varían de 0.15g a 0.53g en la dirección norte-sur, de 0.15g a 0.81g en la dirección este-oeste, y de 0.18g a 0.40g en la componente vertical (Munguía et al, 2010). Los únicos sismógrafos en la ciudad de los que tenemos conocimiento son los ubicados en el edificio Ejecutivo del Gobierno del Estado, uno a nivel de sótano y otro en la azotea.

[1] Profesor, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingenieria, Blvd. Benito Juárez s/n, Col. Insurgentes, CP. 21280, Mexicali, B.C. joelmartinez@uabc.mx

La red del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS) cuenta con diversos sismógrafos en Calexico, y El Centro, California, también en la Figura 1 se muestran las aceleraciones máximas del suelo registradas en algunas de estas estaciones. Los datos del sismo registrados en Estados Unidos fueron obtenidos de la base de datos del *"Center for Engineering Strong Motion Data"* (CESMD, 2010). Las estaciones más cercanas a Mexicali son las que se ubican en la estación de Bomberos de Calexico, operada por el USGS, y la estación del Ejido Tamaulipas que es parte de la RESNOM; en ambas estaciones se registraron aceleraciones máximas del terreno similares: 0.23g en el Ejido Tamaulipas, y 0.27g en Calexico. Por otro lado, en un par de estaciones de El Centro se midieron aceleraciones de 0.55g y 0.58g, respectivamente. En la Figura 1 también se muestra con una línea gruesa la longitud de ruptura de la falla reportada por el USGS.

Figura 1. Ubicación del epicentro y aceleraciones del suelo máximas registradas en algunas estaciones

A diferencia de los datos de los sismos obtenidos por el CICESE, los datos de los sismos obtenidos por las redes sismológicas de Estados Unidos son públicos, y se encuentran al alcance de cualquier persona casi de forma inmediata después de ocurrido el sismo. Entonces, para el caso de Mexicali, se cuenta con registros históricos de sismos medidos en Calexico y El Centro California. Utilizando la información disponible se puede comparar el espectro de diseño contenido en el Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California (RBC, 1992) con el espectro de respuesta del sismo del 4 de abril, para un amortiguamiento del 5%. El espectro contenido en el RBC (1992) está vigente y es el que se utiliza para el diseño de estructuras del grupo B. En la Figura 2 se puede observar la marcada diferencia que existe entre los espectros de los sismos ocurridos en 1979, 1987, y 2010 con respecto al espectro de diseño del RBC, y es aun preocupante el desfase de los periodos característicos del suelo. El CICESE elaboro un estudio de microzonificación sismica de Mexicali (Acosta et al, 2007), donde los periodos característicos del suelo son concordantes con los de los sismos antes indicados. Actualmente se está llevando a cabo la revisión del capitulo sísmico del reglamento aplicable para Mexicali, esto con el objetivo de modificar el espectro de diseño de acuerdo a las características del suelo, con base en la información científica con la que se cuenta.

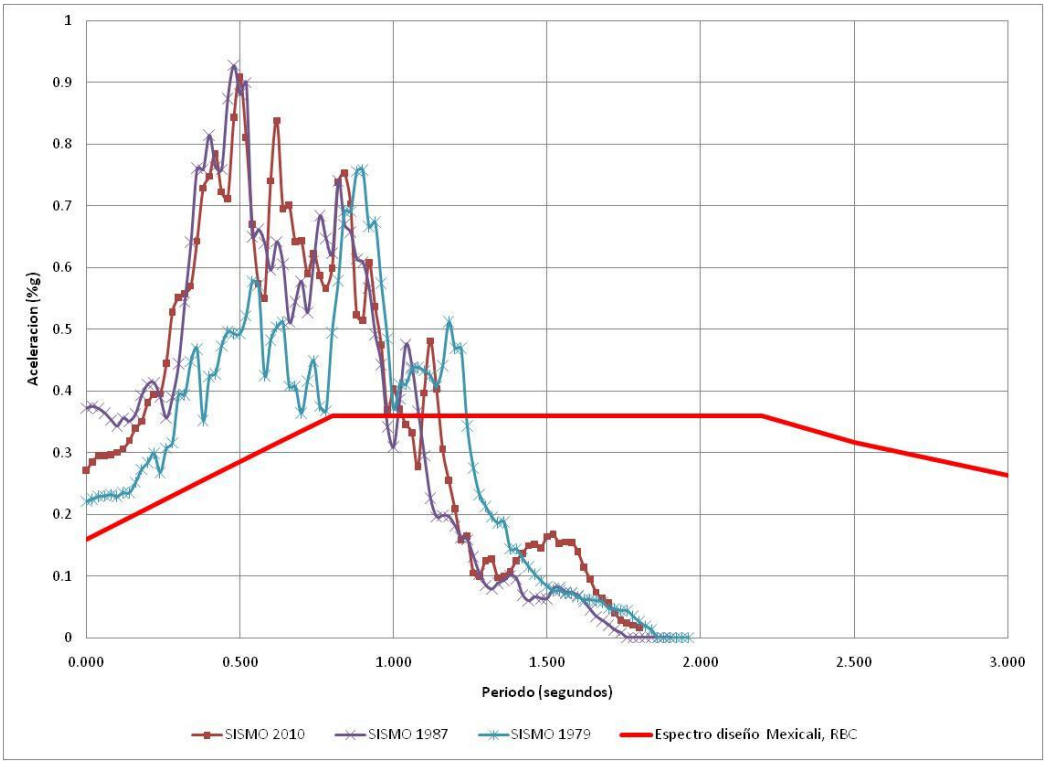

Figura 2. Espectro de diseño para Mexicali (RBC, 1992) y espectro de respuesta del sismo del 4 de abril (CESMD, 2010).

DAÑOS EN LAS EDIFICACIONES

El desfase que existe entre los periodos característicos y aceleraciones del espectro de diseño contenido en el RBC y los espectros de respuesta del suelo afectan directamente el diseño de las estructuras, y por consiguiente su desempeño ante los sismos. Además, en las inspecciones realizadas a viviendas, escuelas, plantas industriales, y edificios públicos se pudo observar, que además del espectro inapropiado, existen otros factores que influyeron en el daño de las estructuras, tales como errores de construcción, supervisión deficiente, mala calidad de materiales, y procesos constructivos inadecuados.

En general, el daño ocasionado por el sismo en la ciudad afecto un gran número de estructuras, donde en cantidad las viviendas fueron las mas afectadas, numero seguido por escuelas. Aunque los daños en edificios industriales, por lo general, son menos severos también muchos edificios resultaron con daños. En la zona rural de Mexicali, donde se concentra la producción agrícola de la entidad, se produjeron daños severos por los efectos que tuvo el sismo en el suelo; en una extensa zona, cerca del epicentro, se presento el fenómeno de licuación del suelo, y de forma generalizada el terreno resulto afectado por los desniveles que se produjeron a causa de las ondas sísmicas. En consecuencia, la infraestructura carretera e hidroagricola se vio severamente afectada, así como también los terrenos de cultivo.

En la Tabla 1

Tabla 1 se presenta un listado de los sectores afectados por el sismo, así como también las acciones o proyectos de restauración y los montos asignados para dicho objetivo por el programa del **Fondo de Desastres Naturales** (FONDEN) del gobierno federal. El monto asignado se divide en aportación federal y aportación estatal, donde la aportación federal es mayor a la estatal. En los montos asignados puede observarse que el sector hidroagricola es que tiene los costos más altos de restauración, seguido por el sector educativo y por el sector carretero, respectivamente. Aunque estos montos ponen en perspectiva la magnitud del daño en el sector público y parte del sector privado (vivienda), no contamos con cifras del costo de la restauración en el sector privado que incluye la vivienda asegurada, y edificios comerciales e industriales.

Tabla 1. Recursos autorizados por el Fondo de Desastres Naturales para reconstrucción (FONDEN, 2010).

Estado	Evento	Municipios y Delegaciones Políticas Afectadas	Sectores Afectados	Acciones de Restauración	Aportación Federal (Pesos)	Aportación Estatal (Pesos)	Aportación Dependencia Federal (Pesos)	Aportación Total (Pesos)
Baja California	Sismo 4 de abril 2010	2	Vivienda	2818	112,084,716	82,323,829		194,408,545
			Urbano	9	32,286,517	48,429,775		80,716,292
			Salud - Estatal	19	101,331,846	101,331,846		202,663,691
			Deportivo - Estatal	13	10,480,320	10,480,320		20,960,639
			Cultura - Estatal	7	30,419,340	30,419,340		60,838,681
			Carretero - Estatal	15	132,389,628	132,389,628		264,779,256
			Hidráulico - Estatal	56	40,034,323	40,034,323		80,068,646
			Educativo - Estatal	391	147,842,217	147,842,217		295,684,434
			Carretero - Federal	29	153,338,160	0		153,338,160
			Educativo - Federal	353	156,043,453	0		156,043,453
			Salud - Federal	1	72,100,000	0		72,100,000
			Hidroagrícola - Federal	67	404,990,658	0		404,990,658
			Hidroagrícola - Federal 118 S.E.	37	179,331,024	0		179,331,024
			Total	3815	1,572,672,202	593,251,278	0	2,165,923,479

ESCUELAS PÚBLICAS

A pesar de las que las escuelas son estructuras del grupo A y no debería sufrir daños estructurales severos por sismo, tanto en la zona urbana como rural más de 700 escuelas sufrieron daños que las pusieron fuera de servicio, y con la necesidad de ser reparadas o demolidas. Aunque en algunos casos se trata fallas de elementos no estructurales solamente, como muros, y cancelería, estas fallas impiden la correcta operación de los edificios, por lo que fue necesario realizar labores de restauración. Asimismo en un alto porcentaje de escuelas se requirió realizar reforzamiento de columnas, reforzamiento de trabes, incluso el reforzamiento con sistemas laterales adicionales, tales como muros de cortante o contravientos.

Gran parte de las escuelas públicas existentes fueron construidas bajo las antiguas especificaciones del Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas (CAPFCE), donde su estructuración básicamente consiste de marcos rígidos de concreto en dos direcciones. Algunas de estas escuelas tuvieron un buen desempeño y no presentaron daños en elementos estructurales ni en elementos no estructurales, sin embargo muchas escuelas presentaron daños en columnas, muros no estructurales colocados en el eje de las columnas, y en uniones trabe-columna; una menor cantidad de escuelas también presento daños en trabes y losas planas por efecto de la flexión. En la mayoría de los casos donde se tuvieron fallas en columnas principalmente se debió al efecto de columna corta, ya que por deficiencias de construcción se dejaron los muros con separaciones pequeñas a las columnas, o sin separación alguna. Estos muros generalmente tenían una altura menor a la altura libre de la columna, por lo que se restringió la deformación lateral de las columnas en la altura del muro, ocasionándoles así un incremento significativo del cortante. Aunque estrictamente hablando este tipo de error puede atribuirse a los procedimientos constructivos, también puede considerarse como un error de diseño ya que el diseñador se debe anticipar a los posibles errores que pueda hacer el constructor, especialmente en errores tan columnas como este. En algunos casos, también se observo que originalmente si existían juntas de expansión adecuadas entre muros y columnas, sin embargo, con el mantenimiento y reparaciones que se realizan a lo largo de la vida útil del edificio, estas juntas de expansión dejan de existir ya que con el tiempo terminan selladas.

En la Figura 3 y Figura 4 se muestran un par de columnas del edificio de derecho de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), donde se puede apreciar el efecto de columna corta al que estuvieron sometidas las columnas interiores del edificio a causa de los muros bajos en los pasillos. En las columnas perimetrales no se presento este efecto ya que los muros están formados por paneles de concreto prefabricados, que fueron colocados por fuera del eje de las columnas. En este edificio fallaron 8 columnas del segundo nivel, y otras 8 columnas del primer nivel quedaron dañadas por el mismo efecto, además la losa nervada de entrepiso y cubierta también presentan agrietamiento por flexión zonas cerca el apoyo (columna). En la Figura 5 se muestra una vista externa de la biblioteca central de la UABC, donde se puede apreciar el daño en los muros de mampostería exteriores del edificio. Los muros perimetrales fueron construidos en el eje

de la estructura y ligados a la losa de entrepiso, por lo que trabajaron de manera estructural. Asimismo en la Figura 6 se muestra el efecto de columna corta que sufrieron un par de columnas del mismo edificio, además se observo la falla de uno de los estribo por ruptura a tensión.

En la Figura 7 se aprecia el daño que sufrió una de las columnas de Secundaria Miguel de la Madrid en su planta baja, en la planta alta no se observaron columnas dañadas. Este tipo de daño fue muy común en las escuelas públicas con edificios tipo CAPFCE, por lo que un gran número de edificios tuvieron que repararse. En la Figura 8 también se puede apreciar el tipo de daño que sufrieron todas las columnas de uno de los edificios de un nivel, de la Benemérita Escuela Normal Urbana Federal Fronteriza de Mexicali (BENUFF). Este edificio en particular ya había sido reforzado en el pasado con una especie de muretes o columnas angostas, sin embargo, este deficiente reforzamiento fue más perjudicial que benéfico para la estructura ya que al no colocarlo hasta la parte superior de las columnas se produjo el efecto de columna corta.

En las columnas que fallaron por cortante, se observo una separación excesiva de los estribos en columnas y trabes, de hasta 30cm en columnas de 60cmx60cm, y de 20cm en trabes de 30x30cm. Por lo que este deficiente detallado también fue un factor que influyo en el pobre comportamiento de las columnas de concreto en escuelas.

Figura 3. Edificio de derecho de la UABC

Figura 4. Edificio de derecho de la UABC

Figura 5. Biblioteca de la UABC

Figura 6. Biblioteca de la UABC

Figura 7. Sec. Miguel de la Madrid

Figura 8. Columna dañada, Benuff

La estructura del edificio de cuatro niveles de la facultad de ingenieria de la UABC, originalmente estructurada a base de columnas y losas planas de 35cm de espesor, pero a principios de los noventas fue reforzado con muros de cortante de concreto, lo que aumento significativamente su rigidez y resistencia lateral. En este sismo el edificio solamente presento daños estructurales ligeros, aunque el daño en sus elementos no estructurales fue severo, ya que la mayor parte de los muros de mampostería que tenía el edifico fallaron, o colapsaron tal como se puede observar en la Figura 9. Actualmente este edificio se encuentra operando, y todos los muros de mampostería fueron sustituidos por muros ligeros de poste galvanizados cubiertos con hojas de cemento y yeso. En la Figura 10 se muestra el colapso de un muro de mampostería no estructural en una preparatoria del CECYTE, este daño también fue muy común en los edificios tipo CAPFCE, ya que estos muros se sujetaron deficientemente a las columnas y trabes con ángulos metálicos en su parte lateral y superior respectivamente, y los casos donde se presento esta situación los la conexión de los ángulos con la trabe o columna fallo. Este tipo de conexión, demostró ser ineficiente, ya que en muchos de los casos donde colapsaron los muros a causa del desprendimiento de los ángulos fallo el anclaje de acero o se produjo desprendimiento del elemento de concreto por un anclaje inadecuado. En otros casos donde los ángulos no fallaron, estos ángulos restringieron el movimiento independiente de la estructura con respecto al muro, por lo que los muros trabajaron estructuralmente y se dañaron.

Figura 9. Edificio de la facultad de ingenieria

Figura 10. CECYTE, Plantel Los Pinos

EDIFICIOS PÚBLICOS

A diferencia de las escuelas, el daño observado en edificios públicos fue muy variado, esto debido a la amplia variedad de tipologías estructurales. Sin embargo, aquí se presentan dos de los casos más representativos por la severidad del daño. En la Figura 11 se muestra una vista lateral del edificio de oficinas del ISSSTECALI, donde se aprecia daño severo que sufrió en los muros, incluyendo sus castillos. En la Figura 12 se muestra un acercamiento de la falla del muro y castillos por cortante. En los castillos que quedaron expuestos podía observarse el pobre refuerzo con que contaba la estructura, especialmente los castillos donde se utilizaban varillas #2 con separaciones hasta de 30cm. Ya que tanto los muros perimetrales e interiores eran estructurales, y soportaban el entrepiso y cubierta su reparación hubiera sido costosa y compleja, motivo por el cual se opto por demoler la estructura.

En el centro cívico de Mexicali, donde se encuentra el centro de gobierno estatal y municipal, colapso un estacionamiento prefabricado en proceso de construcción, Figura 13. El estacionamiento estaba estructurado con un centro rígido a base de muros de cortante en forma de] [, y marcos gravitacionales perimetrales, donde la rigidez y estabilidad del edificio dependía básicamente del diafragma de piso. El diafragma de piso estaría compuesto por vigas doble T prefabricadas con una sobrelosa de concreto reforzado reforzado; esta losa estaría anclada a los muros de cortante y vigas portantes perimetrales. Las vigas doble T no se unieron con placas entre ellas, solamente estarían unidas por la sobrelosa de concreto reforzado. Sin embargo, al momento en que se presento el sismo, la estructura se encontraba en un punto particularmente vulnerable, ya que las vigas doble T de varios niveles ya estaban colocadas en su posición final, pero estas no contaban con ninguna fijación, debido a que la losa de concreto no había sido colada. Entonces, ya que las vigas doble T estaban sueltas con el movimiento producido por el sismo empujaron la viga portante perimetral, la cual estaba soportada gravitacionalmente por una ménsula de acero y lateralmente por placas soldadas las cuales se anclaban al concreto con seis pernos Nelson en cada extremo. Una vez que falló la trabe portante del extremo, se produjo el colapso de las vigas doble T de los cuatro niveles donde se pudo haber generado un efecto dómino. En la Figura 14 se muestra otra perspectiva del edificio al día siguiente del sismo.

Figura 11. Oficinas del ISSSTECALI

Figura 12. Oficinas del ISSSTECALI

Figura 13. Edificio de estacionamiento

Figura 14. Edificio de estacionamiento

INDUSTRIAL Y COMERCIAL

Después del sismo podían verse en las zonas industriales de la ciudad muchos edificios industriales dañados. Un tipo de daño común que ocurrió en las plantas industriales fue la falla de muros perimetrales de mampostería, generalmente por la deficiente sujeción del muro fuera de su plano, por lo que en la mayoría de los casos fallo el anclaje ocasionando el colapso parcial o total del muro. Es común que la fijación de los muros de mampostería se realice conectando el muro a las columnas de la estructura mediante ángulos, donde el ángulo se suelda a la columna y se sujeta al muro con conectores mecánicos de expansión. Este tipo de conectores mostro comportamientos inadecuados, ya que ante fuerzas cíclicas el ancla pierde anclaje con el concreto. Además, en algunos casos la cantidad de anclas que se coloco para la sujeción del muro no fue suficiente. Entonces, en general este tipo de daño podría atribuirse a un diseño inadecuado de la sujeción o en el peor de los casas la falta de diseño de la conexión. Entonces, es recomendable que las conexiones estructurales en zonas sísmicas se realicen preferentemente con anclaje químico. En algunas estructuras también se observaron conexiones de la estructura metálica dañadas con tornillería suelta, placas dobladas o con pandeo local, choque entre estructuras, etc. Muchos de esos problemas se pueden atribuir a un pobre control de deformaciones.

En la Figura 15 se muestra un edificio industrial donde colapso el muro de block que cubrirá su lado sur. En este caso el muro de mampostería hueca de concreto cubría la altura total del edificio, y en actualmente este muro ya fue repuesto por un muro de lamina. En la Figura 16 se presenta otro tipo de daño que se presento en las instalaciones de varias plantas industriales, referente a los tanques de almacenamiento. El tanque sufrió desplazamiento de la base, dañándose las anclas, la base de concreto y el tanque en sí. En la Figura 17 se presenta el colapso parcial de una planta de concreto prefabricada que fallo por el choque con una estructura adyacente, y por la falta de un diafragma adecuado en la cubierta, por lo que los elementos prefabricados trabajaron independientemente. En esta misma planta, las trabes portantes sufrieron desplazamientos fuera de su apoyo, al igual que las vigas doble T, y la causa de esto fue ya que no se tenía un diafragma adecuado en la cubierta y los marcos gravitacionales trabajaron como marcos rígidos donde su resistencia dependía en buena medida de la fricción del concreto de la parte superior de la columnas y trabes portantes. Este tipo de plantas con la estructura de concreto prefabricado no es común en la localidad.

En la Figura 18 se muestra otro tipo de daño que detectamos en varias plantas donde la polinería sufrió pandeo lateral. El pandeo se inicio en los polines que soportan los aparatos para el aire acondicionado; estos polines no contaban con refuerzos que les dieran una mayor estabilidad y resistencia. Esto es, generalmente los polines que soportan los aparatos de aire acondicionado requieren reforzarse con un polín adicional, unido ceja con ceja o alama con alma, para darle una mayor estabilidad.

En la Figura 19 se muestra el daño local que sufrió la polinería que soporta los aparatos de aire acondicionado por cortante y flexión en el eje débil del polín debido a la fuerza inercial que se genero en aparato de aire

acondicionado durante el sismo. En la Figura 20 se muestra la falla tipo en la sujeción de muros, en este caso se tenía el ángulo que sujetaba el muro con anclas expansivas y fallo el ancla. Este tipo de falla también se presento con frecuencia.

Figura 15. Edificio industrial

Figura 16. Tanque de almacenamiento

Figura 17. Edificio prefabricado

Figura 18. Pandeo de polines

Figura 19. Falla de polín monten de cubierta

Figura 20. Falla de sujeción de muro

VIVIENDA

La vivienda fue uno de los sectores más dañados con el sismo, tanto la vivienda construida en serie por desarrolladores como la vivienda construida por particulares. El FONDEN en conjunto con el Gobierno del Estado aporto recursos para financiar la reparación y/o reconstrucción de 2818 viviendas (ver la Tabla 1Tabla 1), sin embargo, dentro de esta cantidad no están consideradas las viviendas en las que los propietarios mantienen su crédito vigente. La razón por la cual no están consideradas las viviendas que están siendo pagadas es porque esas viviendas están aseguradas, y las aseguradoras tendrían que responder por lo gastos de reparación.

Si observamos el espectro de respuesta del sismo en la Figura 2 podremos ver una de las posibles causas: el suelo de mexicali responde a periodos cortos, que son los periodos que esperaríamos en construcciones de baja y mediana altura, es decir de 1 a 5 pisos. Los daños observados en la vivienda van desde agrietamientos ligeros, a daño severo que pone a la vivienda en una situación de colapso inminente. Las causas de daño podrían ser atribuibles a diferentes factores: proyectos deficientes, mala calidad de materiales, errores u omisiones en la construcción, y una mala supervisión. En algunos casos, las empresas desarrolladoras han llevado sus diseños al límite, literalmente, entonces los esfuerzos cortantes en los muros para el espectro de diseño se encuentran cerca del 100% de su resistencia, lo que pone a las viviendas en un estado vulnerable en caso de que el sismo que se presente rebase los requerimientos del reglamento. Un gran número de viviendas de uno y dos niveles se construyen con bloques de concreto huecos de 12cm de espesor; estos muros comúnmente se refuerzan internamente y no se colocan castillos ni cerramientos. Este factor, aunado a la arquitectura de las viviendas jugó un papel importante en el pobre desempeño de las mismas. La baja resistencia a cortante de los muros de 12cm, y la poca cantidad de muros en la dirección corta de las viviendas (fachada frontal y posterior), principalmente, coloca a las viviendas en una situación de vulnerabilidad ante sismos con aceleraciones espectrales mayores a las que indica el RBC.

De la Figura 21 a la Figura 23, se muestran algunos casos de viviendas dañadas en algunos desarrollos de la ciudad, lo cual genero un problema social, ya que las personas tuvieron que abandonar sus viviendas ante la incertidumbre de seguridad por los daños que presentaron. Aunque en la mayoría de los casos los daños en las viviendas son reparables, estas siguen abandonadas a causa de que las aseguradoras no han respondido como deberían, cubriendo los gastos de reparación y solamente cubren parte de los gastos. Además, el propietario tiene que cubrir los gastos de dictamen y revisión estructural. Además, en algunos casos la empresa aseguradora o el desarrollador ejecuta la reparación de la vivienda, de acuerdo con el proyecto que ellos mismos realizan y esto ocasiona desconfianza de las personas en cuanto a la calidad de las reparaciones, temiendo que la vivienda reparada vuelva a presentar los mismos problemas en algún sismo futuro.

En la vivienda construida por particulares también se presentaron danos, especialmente con la autoconstrucción. De la Figura 24 a la Figura 26, se presentan algunos casos de vivienda construidas irregularmente, sin proyecto, control de calidad, ni permiso de construcción; en la Figura 24 se muestra una vivienda que sufrió daños por asentamientos, esto debido a una cimentación inadecuada. En la Figura 25 se presenta parte de una vivienda con daños en columnas, entrepiso, muros, y escaleras, y físicamente se observo mala calidad de los materiales, refuerzos inadecuados, y un procedimiento constructivo deficiente. En la Figura 26, se muestra el caso de una vivienda que quedo en estado de colapso inminente; esta vivienda también fue construida por su propietario, y le fue adicionando nuevas estructuras incluyendo el la parte superior, donde la planta alta era de construcción reciente y no sufrió daños, sin embargo prácticamente todos los muros de la planta baja fallaron, por lo que la vivienda tuvo que ser demolida.

Figura 21. Vivienda dañada

Figura 22. Vivienda dañada

Figura 23. Vivienda dañada

Figura 24. Vivienda dañada

Figura 25. Vivienda dañada

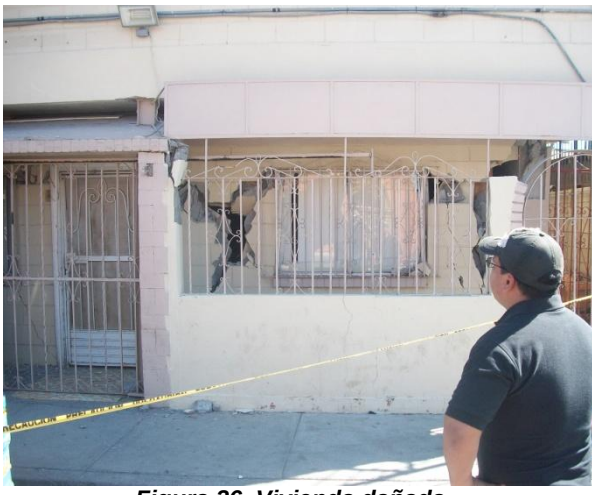

Figura 26. Vivienda dañada

INFRAESTRUCTURA

En general, la infraestructura de riego en la zona rural de Mexicali fue la mas afectada, ya que los canales, puentes y cruces, se vieron seriamente afectados, así como también los desniveles ocasionaron daños en las parcelas y carreteras. Aunado a la edad de la infraestructura del valle de Mexicali, poco o nulo mantenimiento, y los daños estructurales causados por el sismo, los desniveles ocasionados en el terreno son un problema serio que debe corregirse. En la Figura 27 se muestra el daño ocasionado en un canal de riesgo, y en la Figura 28 se muestra el daño en la pila de soporte de cruce vehicular, el cual giro.

Figura 27. Daño en canal de riego

Figura 28. Daño en muro de soporte de puente

CONCLUSIONES

El sismo ocurrido el pasado 4 de abril del 2010 en Mexicali, B.C. dejo al descubierto deficiencias en la reglamentación, y malas prácticas de construcción y supervisión que incrementan la posibilidad de daño de las edificaciones. Esta vez fuimos muy afortunados, ya que el sismo ocurrió un domingo festivo por la tarde; la pérdida de vidas humanas y el número de personas lesionados fue pequeña pero pudo haber sido muy alto si este sismo hubiera ocurrido un día laborable, por lo que se puede considerar un aviso para hacer las cosas mejor. Entonces, es de vital importancia actualizar el reglamento de construcción del estado, o generar normas técnicas complementarias para el Municipio de Mexicali, así como tener un mejor control de las licencias de construcción, e inspección de las obras. En el Titulo J para análisis sísmico, del reglamento del estado, es imperativo ajustar el espectro de diseño al tipo de suelo de Mexicali y riesgo sísmico de la zona. Otro factor importante que debe corregirse es el de limitar las deformaciones para las estructuras del grupo A y grupo B, ya que aunque el reglamento actual recomienda que la deformación se limite a 0.008 de la altura, permite cualquier deformación siempre y cuando no exista el riesgo de choque entre estructuras ni elementos no estructurales que puedan dañarse.

Entre las principales causas de daño observadas destacan el uso de marcos rígidos de concreto con un pobre control de deformaciones, por lo que las grandes deformaciones causaron daños de los elementos no estructurales, o los elementos no estructurales ocasionaron daño a las columnas (efecto columna corta). También se observo que no es conveniente dejar los muros no estructurales en el eje de las columnas, especialmente cuando estos no cubren toda la altura. Aunque el proyecto indique juntas de expansión entre los muros y columnas, es probable que las juntas se construyan de forma inadecuada, o con las remodelaciones y mantenimiento de la estructura a lo largo de su vida útil se eliminen dichas juntas. En los muros que se encuentran por fuera del eje de las columnas, especialmente en la plantas industriales se observo que la sujeción del muro a la estructura es deficiente y en general se debe al mal diseño o falta de diseño, lo que llevo a la falla muros y en algunos casos al colapso. Una solución que se recomendó para solucionar algunos de estos problemas y que se implemento principalmente en edificios escolares fue sustituir los muros de

mampostería por muros ligeros a base de poste galvanizado con hojas de cemento y de yeso a sus costados. Con este tipo de muros, además de reducir el riesgo de que se presente el efecto de columna corta se reducen las cargas de la estructura, y en caso de colapso del muro se reduce el riesgo de lesiones a los usuarios.

En base a los problemas observados en las viviendas creemos que se debe limitar el uso de los bloques huecos de concreto de 12cm de espesor para aplicaciones no estructurales, especialmente en vivienda de dos niveles. Asimismo, algunos de los problemas que se observaron en las viviendas, tales como celdas sin colar, amarres inadecuados, falta de acero de refuerzo, etc. pueden ser evitados o minimizados con una supervisión profesional. En el caso de los edificios industriales, también es recomendable limitar adecuadamente las deformaciones laterales, y mejorar los sistemas de anclaje de los muros.

Aunque la mayoría de estas recomendaciones ya se encuentran en la literatura, deben llevarse a nivel reglamentario en el estado, para así reducir significativamente el riesgo de colapso y daño a las estructuras y por consiguiente reducir el riesgo de lesión a las personas.

REFERENCIAS

Acosta C.J., Arellano Z.G., Ruiz C.E. (2007), "**Microzonificación Sismica de Mexicali**", Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Fondo Nacional para la Prevención de Desastres Naturales, Gobierno del Estado de Baja California, Reporte Final, Octubre 2007, 102 pp.

Cruz-Castillo M. (2002), "**Catalogo de las Fallas Regionales Activas en el Norte de Baja California, México**", GEOS, Unión Geofísica Mexicana AC. Abril, 2002. pp. 37-42.

CESMD (2010), "**Calexico (Sierra El Mayor) Area Earthquake of 04 Apr 2010**", Center for Strong Motion Data, información obtenida digitalmente del sitio:
http://www.strongmotioncenter.org/cgi-bin/ncesmd/iqr_dist_DM2.pl?iqrID=Calexico_04Apr2010&SFlag=0&Flag=1

FONDEN (2010), "**Informe de recursos autorizados en 2010**", Sistema nacional de protección civil, información obtenida digitalmente el día 10 de septiembre del sitio:
http://www.proteccioncivil.gob.mx/fonden/Informe%20Recursos%20Autorizados%202010%2009-03.pdf

Munguía L., Navarro M., Valdez T., y Luna M. (2010), "**Red de Acelerografos del Noroeste de México (RANM): Informe preliminar sobre la localización de registros de movimientos fuertes del sismo El Mayor-Cucapah (Mw 7.2) del 4 de Abril de 2010**", Sismología de movimientos fuertes, División de ciencias de la Tierra, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, 17 pp.

RBC (1992), "**Reglamento de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California**", Publicado en el Periódico Oficial No. 21 el 30 de junio de 1992, Tomo XCIX, Sección I, en su parte 2, 442pp.