

Estudio de aspectos medioambientales en la

VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

y su influencia en el diseño

DR. EN I. DE E. HORACIO RAMÍREZ DE ALBA
Profesor e investigador de la Facultad de Ingeniería, UAEMéx, México
hra@uaemex.mx

DR. EN ARQ. MARCOS MEJÍA LÓPEZ
Profesor e investigador de la Facultad de Arquitectura y Diseño, UAEMéx, México
markusml@terra.es

MTRA. EN ING. ELIZABETH ADRIANA VALDEZ MEDINA
Estudiante de la Maestría en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UAEMéx, México
eliza21381@yahoo.com

Fecha de recibido: Agosto 2010
Fecha de aceptado: Noviembre 2010

Resumen

Sin lugar a dudas, la actividad constructiva afecta al medio ambiente. El presente trabajo tiene como objetivos analizar y evaluar las partes de la ingeniería estructural referentes al diseño, comportamiento y durabilidad de la vivienda de interés social que más influyen en este aspecto. Para ello, se establece un modelo representativo de la vivienda de interés social; posteriormente, se calcula la vida útil mediante análisis de vulnerabilidad, considerando el estado real de las viviendas, el cálculo del índice de daño probable con el método de Montecarlo, a efecto de identificar la probabilidad de daño para diferentes escenarios de intensidad sísmica; finalmente, se realiza el análisis energético con el método de las BEES (Lippiatt, 1998) para las tipologías estructurales y se relaciona con el comportamiento estructural esperado.

Palabras clave: Vivienda de interés social, probabilidad de daño, vida útil, análisis de ciclo de vida, comportamiento estructural.

Abstract

Construction is one of the practices that affect the environment, therefore set out to analyze and evaluate the parties relating to structural engineering design, performance and durability of the social housing that influence the impact to the environment for the four structural types most commonly used in the State of Mexico. To that end by establishing a model principle generally encompasses the characteristics of social housing, then lifetime is calculated by considering the vulnerability analysis of the actual state of the housing, the calculation of the probable damage with Monte Carlo method and thus calculate the probability of damage for different scenarios of seismic intensity, and finally energy analysis is performed with the BEES method (Lippiatt, 1998) for structural types and is related to the structural behavior expected.

Key words: social housing, probability of damage, lifetime, life cycle analysis, structural behavior.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se refiere en particular a la construcción de vivienda en el Estado de México y tiene como objetivo estudiar el comportamiento estructural de un prototipo representativo para los tipos de muros más usuales, en función de la durabilidad y los consumos energéticos correspondientes. Aunque se consideran cuatro sistemas para la construcción de los muros, aquí se tomaron en cuenta los materiales y procesos de los muros de carga del prototipo suponiendo que las losas, acabados, instalaciones y otros componentes permanecen invariables.

Para los propósitos de este trabajo, se adoptan las siguientes definiciones:

Medioambiente: Se entiende por medio ambiente todo lo que afecta a un ser vivo y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o la sociedad en su vida.

Impacto ambiental: Efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. En este caso la acción humana corresponde a la construcción de vivienda de interés social (lo que incluye desde extracción de materiales hasta el fin de la vida útil).

Vulnerabilidad: Daño que pudiera presentar una estructura ante la ocurrencia de un fenómeno natural extraordinario (sismo). Los parámetros tomados en cuenta en este trabajo son los que se enlistan a continuación:

1. Edad aproximada de la vivienda
2. Grado de conservación de la vivienda
3. Número de niveles
4. Daños visibles
5. Modificaciones hechas a la vivienda no contempladas en el proyecto original
6. Irregularidades

Intensidad sísmica: El efecto local de un sismo en función de la aceleración.

Riesgo sísmico: La probabilidad de ocurrencia de una intensidad dada, multiplicada por sus consecuencias, expresada en pérdidas.

METODOLOGÍA

El marco teórico se refiere a los requerimientos de resistencia y servicio que marca el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004) y sus Normas Técnicas Complementarias; con respecto a los consumos energéticos, se refiere a la Norma ISO 14014 (2000), que establece las principales etapas para el análisis de ciclo de vida: Definición de objetivos y alcance, Inventario, Evaluación de impactos, e Interpretación.

Para llegar al objetivo planteado, se recurrió a la siguiente metodología:

1. Definición de la zona de estudio y la investigación de las principales características de la vivienda de interés social.
2. Propuesta de un prototipo de vivienda representativo y la investigación en campo y en laboratorio de las principales propiedades físicas y mecánicas de los materiales, así como de los procesos de fabricación.
3. Definición del prototipo de vivienda de interés social y su análisis holístico para los cuatro sistemas estructurales en estudio, lo que incluye:
 - Identificación de los contaminantes emitidos en la fase de extracción de la materia prima de los materiales para construcción.
 - Identificación de los contaminantes emitidos en la fabricación y puesta en obra de los materiales para la construcción.
 - Pruebas de laboratorio para evaluar la resistencia de los materiales para inferir sus variaciones de las propiedades mecánicas.
 - Análisis y diseño estructural para cada uno de los sistemas estructurales.
 - Análisis detallado del proceso constructivo, así como el análisis de costos para cada uno de los sistemas estructurales.
4. Evaluar la vida útil de las estructuras para cada una de las propuestas, lo que implica:
 - Análisis de vulnerabilidad de las viviendas en estudio, tomando en cuenta la zona en donde están asentadas, de acuerdo con los siguientes puntos:
 - Encuesta para conocer las principales deficiencias constructivas que pudieran afectar la vida útil de las estructuras.

- Cálculo de acelerogramas sintéticos para sismos representativos de ocurrencia frecuente, ocurrencia ocasional, rara y muy rara, en la ciudad de Toluca. Esto con base en datos de investigaciones hechas previamente por la Facultad de Ingeniería, de la UAEM.
- Con base en lo anterior se calcula el desplazamiento de los diferentes niveles de la estructura por medio del análisis modal espectral, variando la rigidez de acuerdo al material empleado y con los datos del estudio de laboratorio hecho previamente.
- Se calcula el índice de daño en función del desplazamiento obtenido por medio de la simulación de Montecarlo, donde las variables denominadas como “supuestos” comprende la rigidez que depende de los materiales (ya que la estructuración es la misma para todas las casas), así como las cargas, el tipo de espectro de respuesta, el cual depende de la probabilidad de ocurrencia de los sismos antes mencionados, entre otras.
- Con los resultados del análisis de Montecarlo, se realiza el análisis de sensibilidad que sirve para saber cuál es la variable que más influye en la durabilidad de las viviendas y cuál podría ser omitida sin que los resultados se vean afectados.
 - Una vez calculado el índice de daño global se procede a calcular la probabilidad de daño referido a los rangos: leve, moderado, severo, muy severo.
 - Con el análisis anterior se estará en la posibilidad de calcular la vida útil relativa, para cada uno de los sistemas estructurales propuestos.

RESULTADOS

Mediante la observación directa y la aplicación de 200 encuestas en nueve zonas habitacionales representativas en el Estado de México, se identificaron las principales características de la vivienda de interés social. En cuanto a los principales materiales, se obtuvo 80% tabicón; 11% tabique; 8 % piezas huecas y 1 % concreto; en cuanto a la cimentación, se encontró que 52 % cuenta con zapatas corridas de mampostería, 36 % con losas de cimentación y 4 % con zapatas aisladas o corridas de concreto reforzado. El resto, o sea 8 % con elementos combinados. Prácticamente todas las viviendas cuentan con losas macizas de concreto reforzado en entrepisos y azoteas. La mayor parte de las viviendas (75%) fueron construidas en terrenos de menos de 100 m², y su construcción se realizó para la mayor parte (60%) en los últimos 15 años. Estos datos fueron obtenidos de encuestas realizadas a conjuntos habitacionales en el Estado de México, y datos del INEGI (2000). Con base en estos datos se generó un prototipo representativo que se muestra en el plano de la Figura 1.

Figura 1. A Dimensiones
generales de Planta Baja

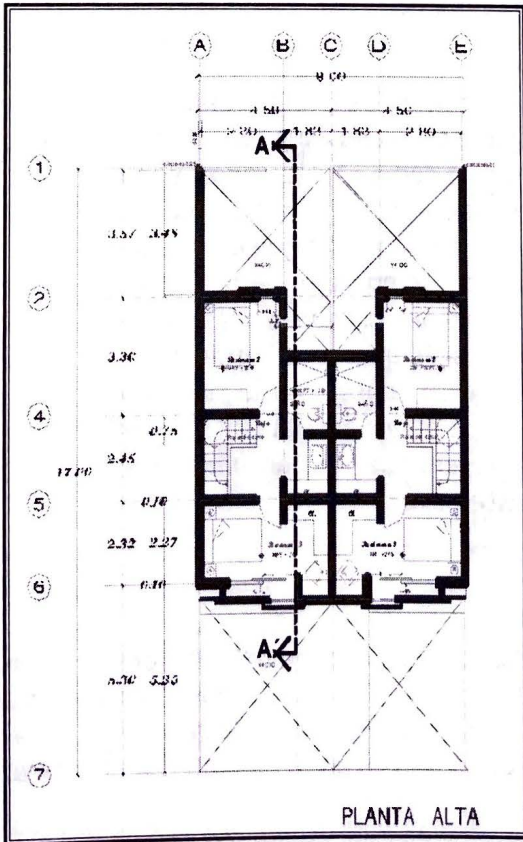
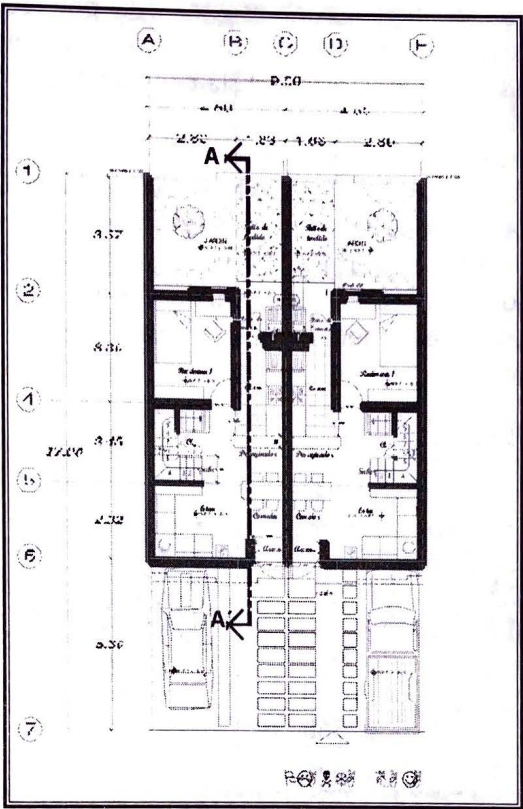


Figura 1.B Dimensiones
generales de Planta Alta

Los muros del prototipo se supusieron contruidos por cuatro diferentes sistemas de muros de carga: tabique rojo recocido, tabic3n, piezas cer3micas extruidas y adobe. Se investigaron los procesos de producci3n de estos materiales para posteriormente utilizar los datos en el an3lisis de ciclo de vida; en particular se identificaron los contaminantes emitidos en las fases de extracci3n de la materia prima, procesos de fabricaci3n y construcci3n, adem3s se obtuvieron muestras representativas de los materiales de los muros que fueron ensayados en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingenier3a. Las principales propiedades f3sicas y mec3nicas obtenidas, se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. COMPARACI3N DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS DIFERENTES MATERIALES

Material	F ^m kg/cm ²	Modulo de Elasticidad (E) kg/cm ²	V [*] kg/cm ²	Peso Volum3trico kg/m ³
Adobe	4.63	5038.76	2	1600
Tabique	17.95	20960	3.5	1500
Cer3micas	37.28	22368	3	2200
Tabic3n	17.42	13984	3	2200

DISEÑO ESTRUCTURAL

Por medio del programa ANEM gcw, se revis3 la capacidad de los muros de carga, con lo cual se realiz3 el diseo estructural del prototipo para los cuatro sistemas de muros de carga considerados, con los resultados de laboratorio antes reportados y el espectro de diseo s3smico aplicable a la zona de estudio. Se demostr3 que con los procedimientos de diseo convencionales el comportamiento estructural resulta satisfactorio para los tres sistemas de muros m3s usuales al agregar elementos convencionales de refuerzo para lograr muros confinados. En el caso del adobe no se logr3 contar con la resistencia suficiente para las propiedades usuales de este material; sin embargo, se decidi3 continuar con las partes referentes a los consumos energ3ticos para compararlo con los otros sistemas.

COSTOS

Con base en los planos estructurales y mediante el programa NEODATA para el an3lisis de precios unitarios, se calcularon los costos directos considerando los costos de materiales, mano de obra y herramienta para precios de enero 2010. Se muestran los resultados comparativos del costo total en la Tabla 2.

TABLA 2 COMPARACIÓN DE COSTOS

Material	Costo	Comparativo
Piezas cerámicas	\$ 330,391.7	100.0%
Tabicón	\$ 295,329.8	89.4%
Tabique rojo recocido	\$ 306,024.3	92.6%

Estimación de la vida útil

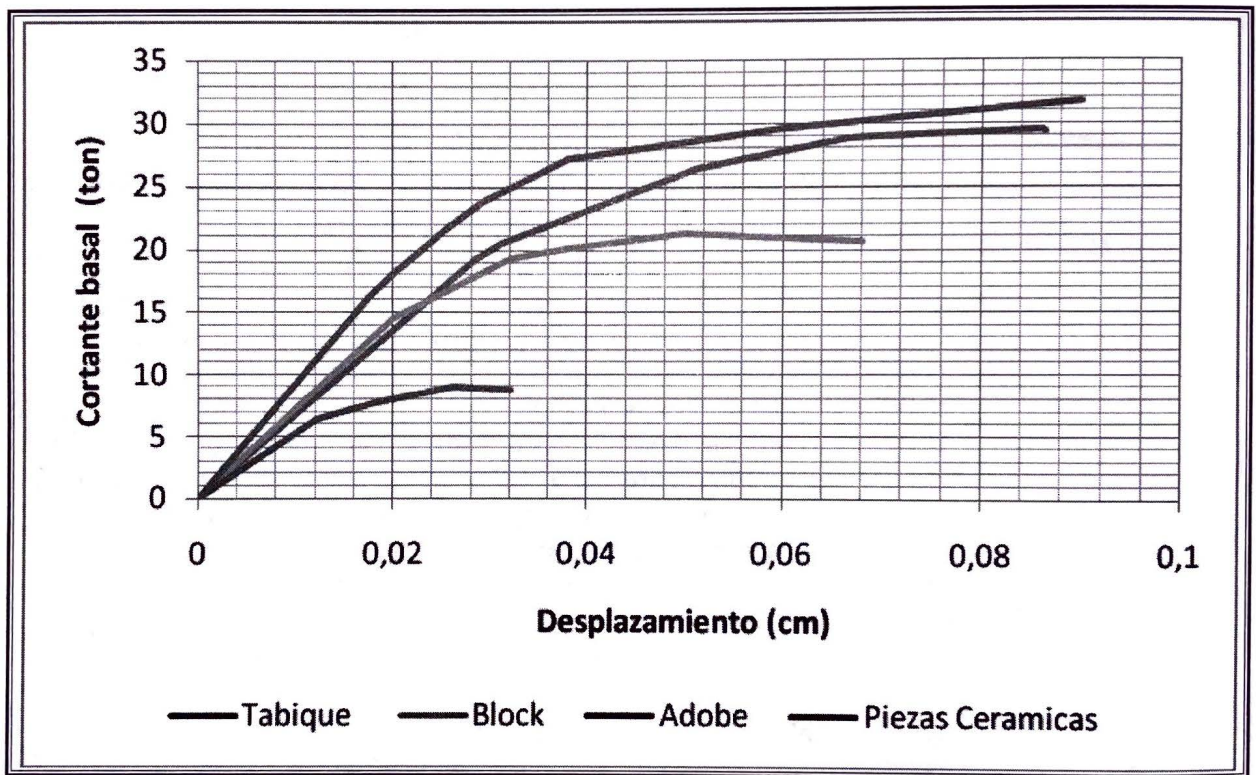
Secuencia esquemática (contenida dentro de la metodología):

Análisis de Vulnerabilidad $\Rightarrow$ **Cálculo de curvas de fragilidad**
matrices de probabilidad de daño $\Rightarrow$ **Estimación de la vida útil**

Para el paso del análisis de vulnerabilidad, primero se realizaron 200 encuestas para estimar la deficiencias estructurales y daños que pudieran presentarse para los diferentes sismos representativos; en seguida se calcularon acelerogramas sintéticos para la ciudad de Toluca, entendiéndose por acelerograma sintético, al histograma de aceleraciones que se genera mediante la simulación de sismos consistentes con un espectro de diseño determinado; dichos acelerogramas fueron generados a partir del modelo que incorpora la trasformada de Fourier, para sismos con epicentro en el estado de Guerrero (solamente como referencia). Estos sismos generan una demanda de desplazamiento, que corresponde a diferentes estados de daño, la generación de acelerogramas sintéticos (para la ciudad de Toluca), a partir de sismos generados en la brecha de Guerrero se realiza con la metodología que se marca en la referencia Hurtado (1996).

Una vez calculados los diferentes escenarios de intensidad sísmica, y mediante el análisis probabilístico se calculan las curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño en función de los desplazamientos esperados, con el método de simulación de Montecarlo, utilizando como variables la rigidez de los materiales, las cargas y el espectro de respuesta, que depende de la probabilidad de ocurrencia de sismo, para lo cual se procedió a calcular las probabilidades de ocurrencia de aceleración sísmica para diferentes intensidades sísmicas correspondientes a rangos denominados: leve, moderado, severo y muy severo (Carrillo, 2004). La estimación de la vida útil se puede calcular de manera relativa, con respecto al sistema que presenta menor probabilidad de daño severo, al presentarse una aceleración de 0.9 g, que corresponde a la aceleración esperada para un sismo de ocurrencia raro.

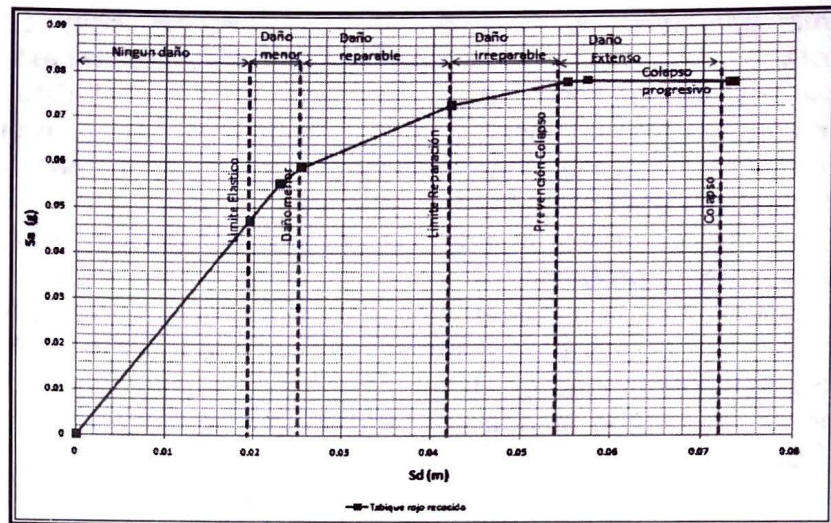
En la figura 2 se muestran las curvas de comportamiento correspondientes al criterio denominado Pushover, donde se ven los desplazamientos laterales como una función de la fuerza aplicada a la estructura y representa una aproximación al comportamiento real esperado independientemente de la forma en que fue diseñada la estructura, siguiendo la metodología de la referencia Chopra (1999); de esta manera, se muestran gráficamente los desplazamientos laterales como una función de la fuerza aplicada a la estructura y representa una aproximación al comportamiento real esperado (Calvi, 1999).



Se estableció un modelo computacional por medio del SAP 2000 (Computers and Structures, 2003), donde se representa la variación inelástica del comportamiento de los cuatro sistemas en estudio, para ello se utilizó el método del puntal diagonal equivalente, con el propósito de observar los desplazamientos para cada nivel de carga e identificar posteriormente los umbrales de daño asociado a cada uno de estos desplazamientos (Teran, 2008), como se muestra en la Figura 3.

Figura 2. Cálculo de la curva Pushover para los diferentes materiales

Figura 3. Curva de capacidad, niveles de desempeño y límites de daños, para el caso de tabique rojo recocido.



Se calcula el espectro elástico para posteriormente obtener la demanda sísmica reducida e interceptarla con la curva de capacidad para obtener el punto de desempeño (ver Figura 4) que muestra el punto de desempeño para tabique y el espectro, que corresponde a un sismo raro, con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

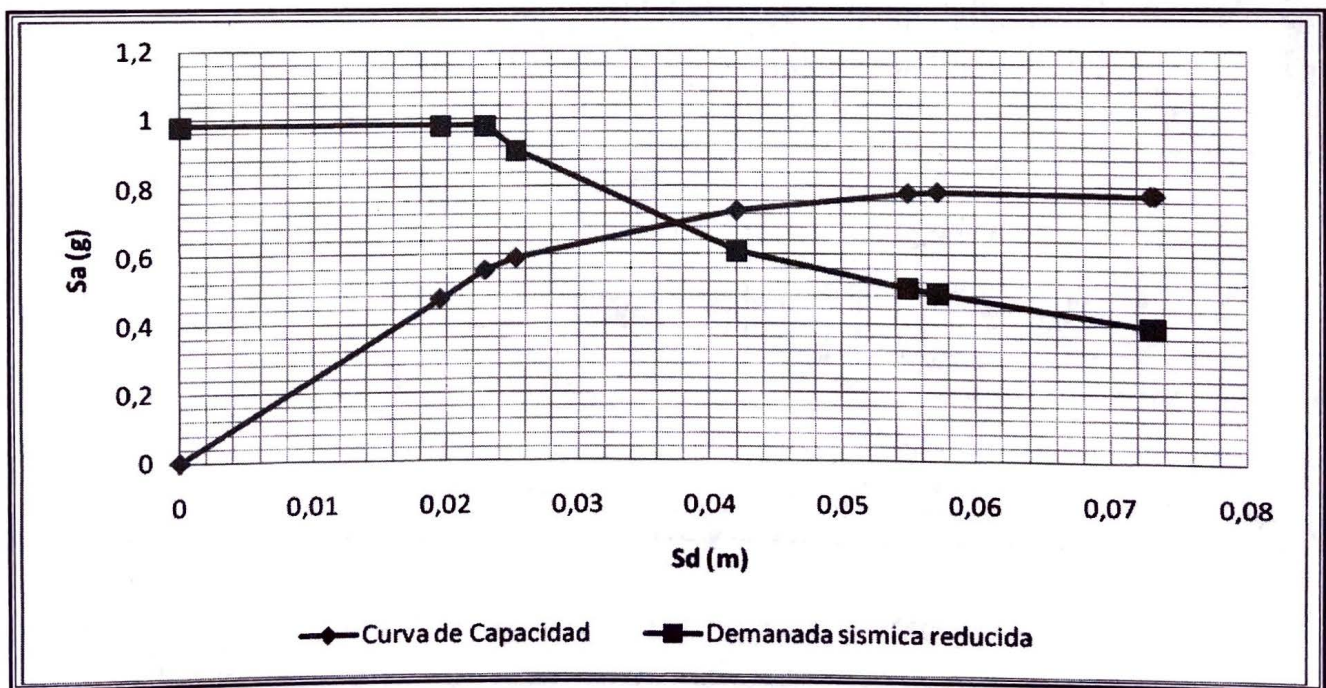


Figura 4. Cálculo del punto de desempeño

Una vez definidos los indicadores de la acción sísmica y la respuesta estructural, fue necesario determinar la relación existente entre ambos parámetros desde un punto de vista probabilista; para ello, se consideraron las incertidumbres en los parámetros sísmicos y estructurales y mediante técnicas de simulación de Montecarlo (CRYSTAL BALL 07) se obtiene la probabilidad acumulada de los desplazamientos para diferentes aceleraciones del terreno; en la Figura 5 se muestra el desplazamiento probable, directo y acumulado, en el segundo nivel del prototipo para una aceleración del terreno de 1.45g. Con ello se obtienen las curvas de fragilidad mostradas en la Figura 6 y las matrices de probabilidad de daño, ambas para el tabique (Tabla 4). Finalmente se obtiene la vida útil relativa, cuyos valores se resumen en la Tabla 3.

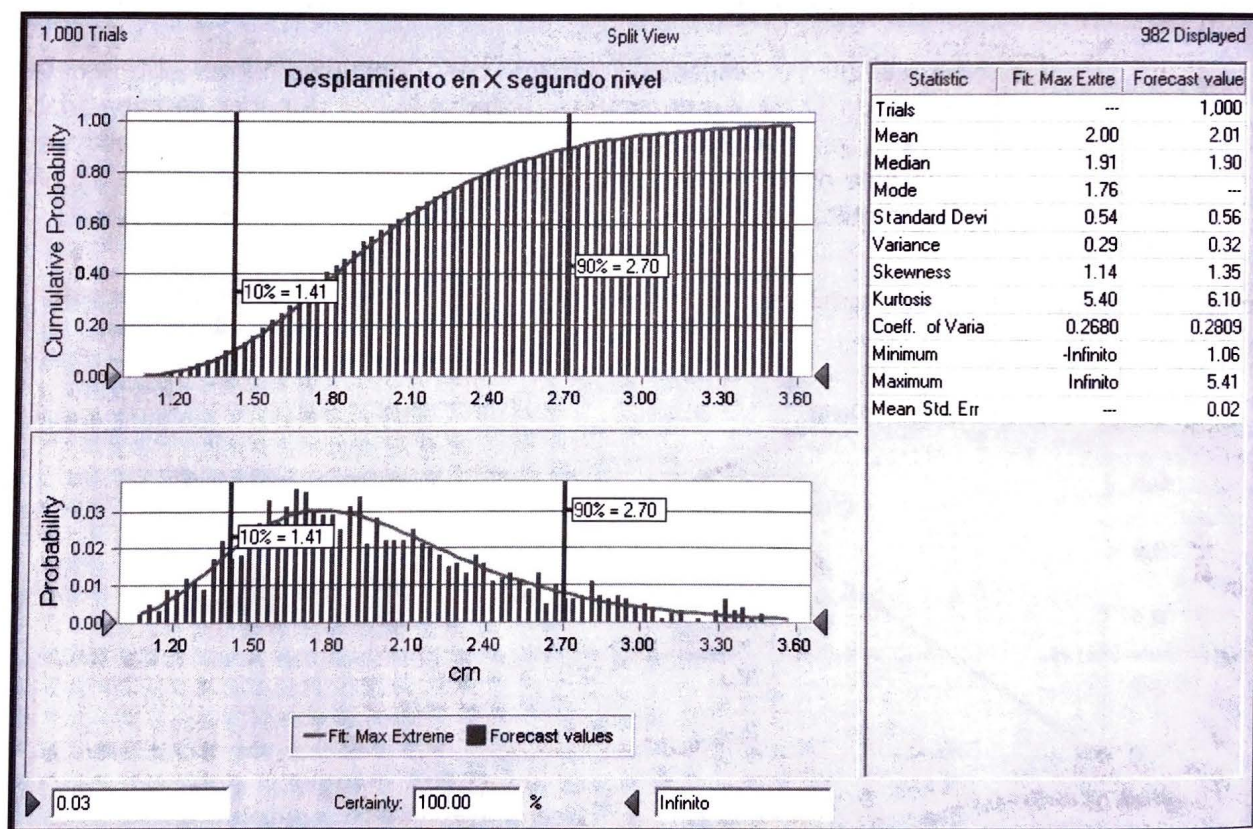


Figura 5. Gráfica de la probabilidad y probabilidad acumulada de los desplazamientos para una aceleración del terreno de 1.45g.

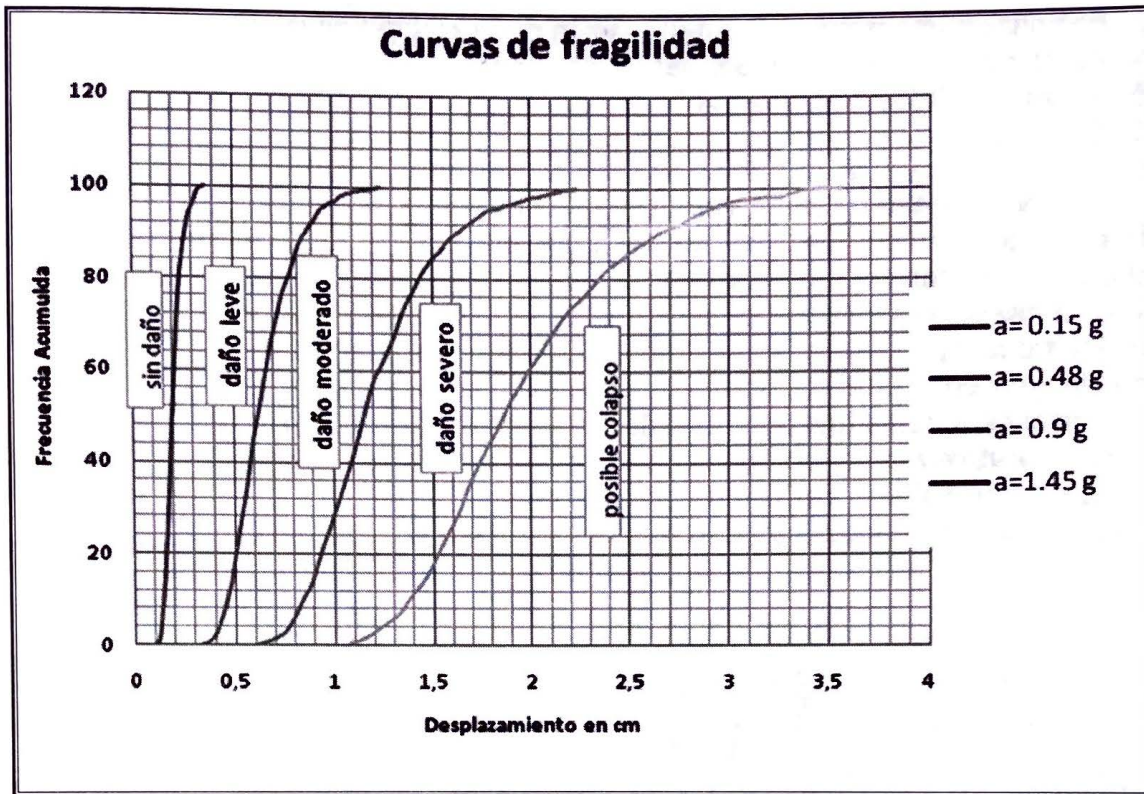


Figura 6. Curvas de fragilidad y delimitación de los umbrales de daño

TABLA 3. PROBABILIDAD DE DAÑO PARA SISMO CON ACCELERACIÓN DE 0.48 G

Material	Leve	Moderado	Severo	Posible colapso	Vida útil relativa	Vida útil relativa en años
Cerámicas	-	88.44%	11.79%	-	1	50
Tabique	-	90.00%	12.00%	-	0.98267327	49
Tabicón	-	98.00%	34.00%	-	0.9024	45
Adobe	-	-	97.00%	3.00%	0.4489	22

ANÁLISIS DE CONSUMOS ENERGÉTICOS Y EMISIONES CONTAMINANTES

En este trabajo se calculó la afectación al medio ambiente conforme la Norma ISO 14040 dentro del apartado de Evaluación de impactos:

1. Potencial de calentamiento global
2. Acidificación

3. Eutrofización potencial (Contaminación potencial del agua)
4. Agotamiento de los recursos naturales
5. Residuos sólidos
6. Calidad del aire

De acuerdo con el estándar de la Norma iso 14040 (2000), el análisis de ciclo de vida se utiliza para evaluar los aspectos ambientales y el potencial asociado con un producto. Como ejemplo de los resultados obtenidos se muestra la Figura 7 el diagrama de flujo energético para el caso del tabicón, y en la Figura 8 se muestran los procesos que más contribuyen en la afectación al medio ambiente para todos los rubros analizados, que incluyen: posibilidad de calentamiento global, acidificación, eutrofización potencial, agotamiento de los recursos naturales, residuos sólidos, calidad del aire interior.

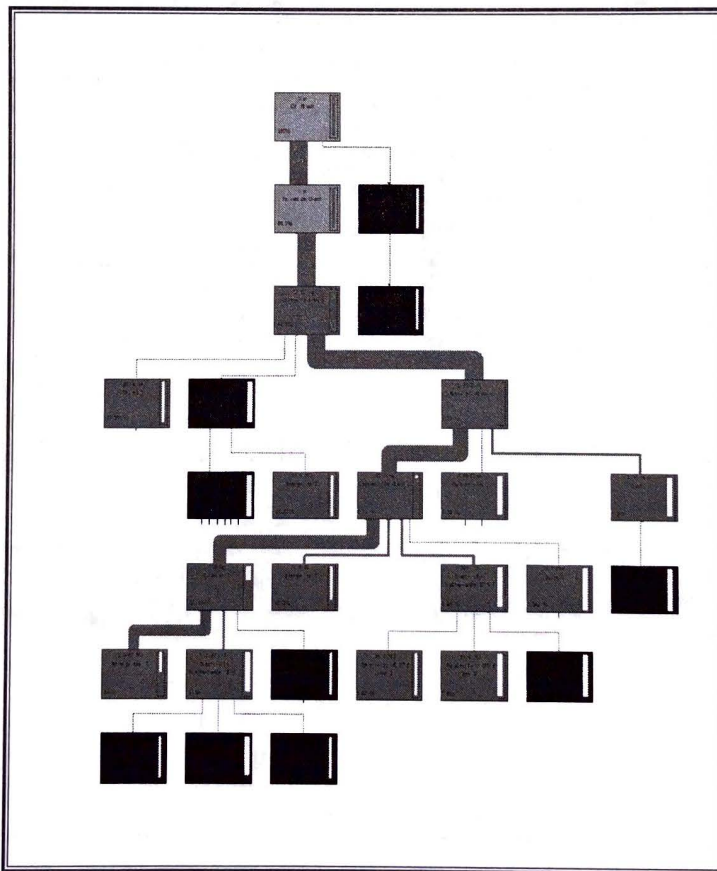


Figura 7. Diagrama de flujo para la estructura fabricada con tabicón

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los tres sistemas más usuales de muros de carga cumplen los requisitos de seguridad y servicio. En cuanto a los muros de adobe para su uso en condiciones comparables a los otros materiales, deberá contar con una resistencia significativamente mayor a la correspondiente al producto convencional, lo cual podrá reducir sus ventajas medioambientales.

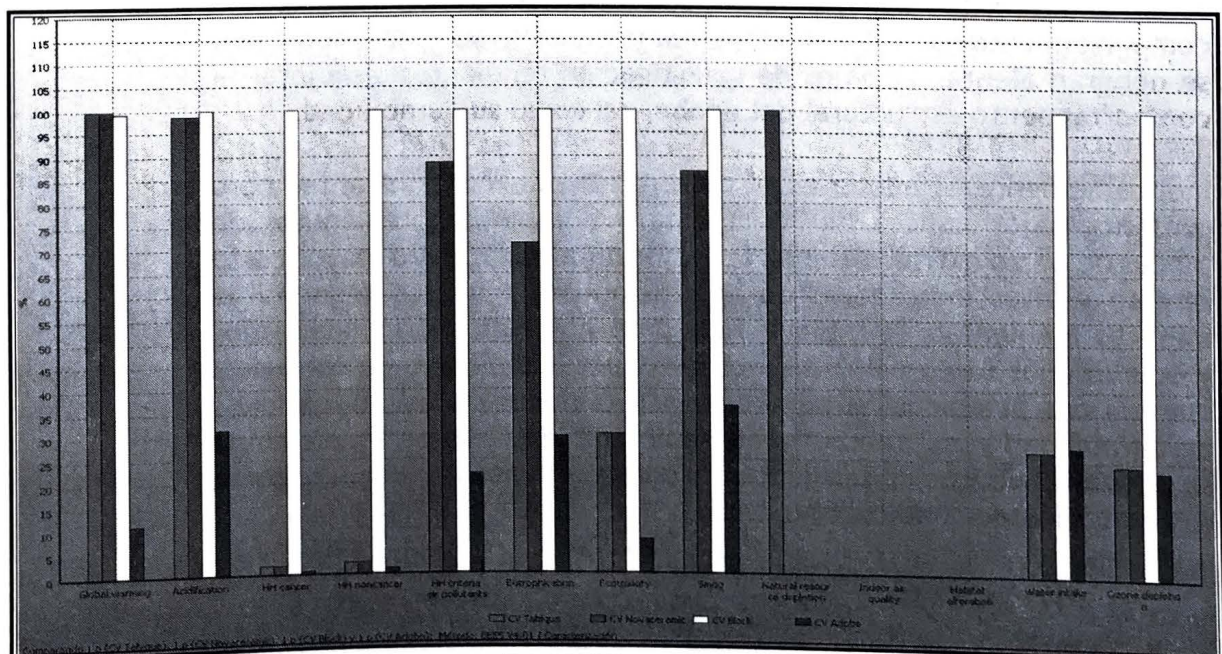
El sistema más económico es el correspondiente al tabicón, seguido del tabique y finalmente el de piezas cerámicas. Sin embargo, esta proporción no corresponde a los efectos al medio ambiente que resultó: en primer lugar el adobe con menores afectaciones al medio ambiente, como se muestra en la Figura 8; seguido del tabique rojo recocido; posteriormente, se encuentran las piezas cerámicas y el sistema que se identifica con la mayor carga medioambiental es el que corresponde al tabicón. Esto por un lado explica la mayoría de estructuras de vivienda construidas con tabicón atendiendo a su menor costo, pero significa un mayor impacto al ambiente.

En cuanto a los consumos energéticos, en la Tabla 4 se muestran los valores, normalizados al 100%, de contaminantes que aportan cada uno de los sistemas estudiados y en cada una de las categorías de impacto ambiental. Estos resultados son obtenidos por medio del programa Simapro 0.7 (PRé Consultants, 1997), utilizando el método de las BEES (Lippiatt, 1998).

**TABLA 4 COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES
GENERADAS POR CADA SISTEMA CONSTRUCTIVO**

Figura 8. Comparación de las cuantificaciones de las afectaciones al medio ambiente

Categoría de Impacto	Unidad	CV Tabique	CV Novaceramic	CV Block	CV Adobe
Global warming	g CO ₂ eq	3.65E5	3.65E5	3.62E5	4.1E4
Acidification	H+ moles eq	8.4E4	8.4E4	8.52E4	2.69E4
HH cancer	g C6H6 eq	1.35	1.35	67.2	0.489
HH noncancer	g C7H7 eq	2.54E3	2.54E3	1E5	1.26E3
HH criteria air pollutants	microDALYs	12.9	12.9	14.5	3.19
Eutrophication	g N eq	52.4	52.4	73.5	21.9
Ecotoxicity	g 2,4-D eq	61.3	61.3	202	15.4
Smog	g NO _x eq	1.51E3	1.51E3	1.74E3	637
Natural resource depletion	MJ surplus	2.71E6	1.18E3	1.96E3	79.4
Indoor air quality	kg TVOC eq	0	0	0	0
Habitat alteration	T&E count	0	0	0	0
Water intake	liters	521	521	1.93E3	537
Ozone depletion	g CFC-11 eq	0.00108	0.00108	0.00449	0.00103



Se pudo establecer comparativamente la durabilidad esperada, resultando que el tabicón cuenta con casi diez por ciento de menor durabilidad que el de piezas cerámicas y el tabique. Dentro de los aspectos que más influyen en la durabilidad de los muros de tabicón se encuentra su absorción, manifestada con mayor rigor cuando el material se coloca en condición húmeda e inclusive saturada, que resulta una práctica frecuente, haciendo que los muros se agrieten causando pérdida de rigidez y provocando vulnerabilidad en la construcción al aumentar la probabilidad de daño, como se demuestra en este trabajo. Otros aspectos detectados por medio de la observación de viviendas representativas que influyen en la durabilidad de la vivienda, son la calidad del concreto y la cuantía de refuerzo en las losas, tanto de entrepiso como de azotea. Es evidente que las estructuras para viviendas de interés social se diseñan con características estructurales en el límite de los reglamentos y muchas veces por debajo de ellos, dando lugar a elementos estructurales poco durables, ya que los agrietamientos, porosidad y absorción causan deterioro progresivo.

En este trabajo se demostró que de los materiales utilizados en la construcción de muros para vivienda de interés social el que presenta mejores condiciones, al considerar conjuntamente el impacto ambiental, el comportamiento estructural y la durabilidad, es el tabique rojo recocido, lo cual implica también establecer estrategias para desalentar el uso de block de concreto o bien mejorar sus características de durabilidad.

RECOMENDACIONES DE USO

En cuanto al adobe se pudo enfatizar lo ya señalado por otros autores al ser un material con un bajo impacto al medio ambiente, pero con comportamiento estructural pobre y baja durabilidad. Como corolario, se deberán alentar trabajos de investigación tendientes a mejorar el comportamiento estructural del adobe, así como su durabilidad.

Indudablemente el adobe es el material menos contaminante, pero presenta bajos índices de resistencia y durabilidad. Los muros de piezas de barro extruido tienen la mejor durabilidad pero mayor costo directo y altos indicadores de afectación en algunas categorías de impacto ambiental. El tabique rojo presenta indicadores adecuados y equilibrados tanto en los aspectos estructurales como de consumos energéticos. El tabicón y el block de concreto tienen malas calificaciones en durabilidad y en afectación al medio ambiente, sobre todo cuando se utilizan prácticas de fabricación y constructivas inadecuadas, como su colocación en condición húmeda.

Aunque no se trató de forma explícita el problema de las losas, es recomendable que la relación de refuerzo no sea inferior a 0.002 en losas de entrepiso y 0.003 en las de azotea; el concreto debe ser de 250 kg/cm² fabricado con agregados de buena calidad con relación agua-cemento no mayor de 0.4

Los resultados reportados permitirán incluir aspectos medioambientales en los procesos de diseño arquitectónico y estructural de la vivienda de interés social.

CONCLUSIONES

En este trabajo se analizaron y evaluaron las partes de la ingeniería estructural que más influyen en el impacto al medio ambiente, para las cuatro tipologías estructurales más comunes en el Estado de México. Se estableció un prototipo de la vivienda de interés social en la zona de estudio basado en resultado de encuestas y la consulta a especialistas; se completó el diseño estructural del prototipo para las cuatro tipologías, lo cual se realizó en una primera etapa con los procedimientos convencionales; posteriormente se calcularon las curvas de capacidad para cada material (curva Pushover en términos de la aceleración espectral por el desplazamiento espectral), se calculó la probabilidad de ocurrencia de desplazamientos que pudieran provocar daños a la estructura dando lugar a las curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño. Con base en las probabilidades de daño calculadas se pudo estimar la vida útil relativa de cada tipología, se describió la metodología empleada para el análisis de ciclo de vida y se aplicó a los sistemas estructurales en estudio, se calcularon las cargas energéticas para cada tipología y se evaluaron de acuerdo con la categoría de impactos que marca el método de las BEES.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, las principales conclusiones se describen a continuación:

1. El caso construido con piezas cerámicas presentó un mejor comportamiento ante cargas laterales originadas por sismo (8% mayor resistencia que el tabique y 45% mayor resistencia que el tabicón), así como una mayor ductilidad (11% más ductilidad que el tabique y 48% más que el tabicón).
2. El sistema que más afecta al medio ambiente es el construido con tabicón, el análisis muestra que la mayor emisión de contaminantes se debe a la producción de clínker, del 100% de contaminaciones emitidas de este material, 87.9% corresponden al cemento y de éste 15% al consumo de combustibles fósiles y 65.1% a la producción de clínker.

3. El material con menos afectaciones al medio ambiente es el adobe (observar en la figura 8 que el adobe queda significativamente por debajo en todas las categorías de análisis), pero muestra el inconveniente de presentar bajas resistencias y altas probabilidades de daño durante sismo, por lo que sería recomendable seguir estudiando este sistema para mejorar su comportamiento estructural y aprovechar su propiedad de ser amigable con el medio ambiente.

4. Considerando la resistencia, costos, vida útil, depreciaciones y contaminantes, se pudieron detectar aspectos que ameritan atención:

- El tabicón resulta un material que muestra indicadores negativos, tiene resistencia por debajo del tabique rojo y de las piezas cerámicas, su vida útil también resulta inferior, así como su depreciación, además de ser el material que más contribuye a la degradación del medio ambiente. Algunos de estos aspectos se explican por su producción casi artesanal sin un control de calidad adecuado, dando lugar a su única ventaja respecto a los demás materiales que es su costo.
- En cuanto al tabique en principio se podría considerar que debería ser un material de mayor impacto al ambiente que el tabicón o las piezas cerámicas; sin embargo, los resultados aquí reportados establecen que es un material que contamina menos y que tiene indicadores adecuados en cuanto a su vida útil, depreciaciones, costos y resistencia, por lo que en principio debería ser un material más favorecido; es decir, en este caso se comprueba lo que es usual escuchar en la gente experimentada dedicada a la construcción respecto a que una vivienda debe ser de tabique rojo recocido o no es vivienda.
- Las piezas cerámicas muestran buenos indicadores en resistencia vida útil y depreciación, pero muestran cierta desventaja en cuanto a su costo y la emisión de contaminantes.

El procedimiento que en este trabajo se estableció, se puede generalizar para sistemas constructivos para vivienda, considerando el criterio de aceptación basado en que el sistema propuesto deberá contar una probabilidad menor al 15% de presentar daños severos ante la ocurrencia de sismo raro, al mismo tiempo de tener niveles de emisión de contaminantes similares o menores a los que muestra el tabique de barro rojo recocido.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a CONAVI y CONACYT el financiamiento para poder realizar la investigación de la cual este trabajo forma parte. Todas las figuras y tablas que se presentan fueron producto directo de los resultados de dicha investigación.

FUENTES DE CONSULTA

BIBLIOHEMEROGRAFÍA

1. Calvi, G. M., "A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings", in *Journal of Earthquake Engineering*, 1999, pp. 411-438.
2. Chopra A.K and Goel R.K., "Capacity-demand-diagram methods based on inelastic design spectrum", in *Earthquake Spectra*, Vol. 15, No. 4, November, 1999.
3. Chopra A.K., "Estimating seismic demands for performance-based engineering of buildings", in *World Conference of Earthquake Engineering*, No. 13, Vancouver, Canada, 2004.
4. Chopra A.K., *Dynamics of Structures*, Second Edition, Prentice Hall, 2000.
5. Computers and Structures (SAP 2000 v8.16), "Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures", Berkeley, CA, 2003.
6. Hurtado, J. Barbat, A., *Simulación de acelerogramas compatibles con espectros de energía sísmica inducida*, Universidad Nacional de Colombia, 1996.
7. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI), Anuario Estadístico del Estado de México, México, 2008.

8. International Organization for Standardization (ISO-14.042), *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment* – Genève – Switzerland, 2000, 20 pp.
9. International Organization for Standardization (ISO-14.040), *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* – Genève – Switzerland, 1997, 12 pp.
10. International Organization for Standardization (ISO – 14.043), *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation* – Genève – Switzerland, 2000, 14 pp.
11. Lippiatt, B., “Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)”, in *CIBWorld Buildings Congress – Construction and the Environment Proceedings*, Gävle, 1998, 8 pp.
12. PRé Consultants, B.V., SimaPro, The software tool to analyse and develop environmentally sound products – Single User Part 3 – Database Manual, 1997, 65 pp.
13. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y Normas Técnicas Complementarias, *Diario Oficial de la Federación*, México, 2004.
14. Terán, A. y Zúñiga, O., “Evaluación basada en desplazamientos de mampostería confinada”, en *Revista de Ingeniería Sísmica*, SMIE, 2008.

OTRA FUENTE

1. Carrillo, W.J., *Modelación del comportamiento inelástico de marcos de concreto con mampostería no reforzada*, Tesis de Maestría en Ingeniería Civil, Universidad de Los Andes, Bogotá, 2004.

INTERNET

1. INEGI, Principales indicadores de las empresas constructoras:
<http://www.inegi.gob.mx>. Fecha de consulta: 4 de Febrero de 2000.