

Sobre el diseño estructural de losas macizas de concreto reforzado para vivienda

Horacio Ramírez¹

Marcos Mejía²

Elizabeth Valdez¹

RESUMEN

A partir de resultados analíticos de ejemplos ilustrativos y características de losas de vivienda observadas en un trabajo previo, se muestra que las losas macizas de concreto reforzado para vivienda no son diseñadas ni construidas adecuadamente en el Estado de México, lo que explica los altos porcentajes de fallas de servicio. Para el diseño correcto de las losas macizas se recomienda no sólo revisar la resistencia, sino controlar las deformaciones, el agrietamiento y la permeabilidad, lo cual implica especificar un concreto denso y durable. En este artículo se presentan algunas recomendaciones específicas.

Palabras clave: losas macizas, vivienda, diseño estructural, condiciones de servicio, durabilidad.

ABSTRACT

From analytical results of illustrative samples and observed characteristics of concrete slabs for housing in a previous research work, it is shown that solid slabs of reinforced concrete for housing are not properly designed and constructed in the territory of the State of Mexico, which sprains the high percentages of service failures observed. For the correct design of solid slabs it is recommended not only the revision of the strength but also the control of deformations, cracking and permeability which implies the specification of a dense and durable concrete. Practical recommendations are presented.

Key words: solid slabs, housing, structural design, serviceability, durability.

¹ Facultad de Ingeniería, UAEM. hra@uaemex.mx, eliza21381@yahoo.com

² Facultad de Arquitectura, UAEM. markusml@terra.es

La losa maciza de concreto reforzado perimetralmente apoyada presenta ventajas constructivas y estructurales, lo cual ha motivado, tanto en el ámbito de la construcción formal como en la autoconstrucción de vivienda, su uso y abuso. Sin embargo, de forma más frecuente de lo deseado y demandado, se presentan daños, como agrietamiento, deformaciones y corrosión del acero de refuerzo en estos elementos, que se propician por sobresimplificaciones en el diseño y descuidos en el proceso de construcción.

Por un lado, se ha observado que en la construcción de viviendas de interés social se hacen ahorros mal entendidos al presionar a los calculistas y constructores para disminuir peraltes y cuantías de refuerzo al argumentar que las losas son elementos estructurales muy nobles que no fallan, pero no sopesan en la medida correcta la durabilidad. Por otro lado, en la autoconstrucción se recurre generalmente a los conocimientos empíricos del propietario sobre construcción y, en algunos casos, a obreros de la construcción con diferente experiencia, lo que propicia que algunas partes de la estructura queden sobradas y otras escasas.

En este trabajo, en primer lugar, se hace un repaso de los requisitos de resistencia, servicio y durabilidad que se deberían aplicar en el diseño de losas de acuerdo con las normas técnicas (Gobierno del Distrito Federal, 2004; American Concrete Institute [ACI], 2005). Para ello se ilustran las partes principales por medio de ejemplos. En una segunda parte se presentan datos obtenidos en investigación de campo sobre el estado de losas macizas de concreto reforzado en viviendas existentes en la zona central del Estado de México. Al analizar los resultados de las dos partes, se establece que no se aplican adecuadamente los requisitos de diseño y se evidencia el descuido en los procesos constructivos. Finalmente, se proponen medidas específicas para mejorar el comportamiento estructural de las losas y, en particular, aumentar la durabilidad.

EL DISEÑO DE LOSAS EN EL ESTADO DE MÉXICO

En el Estado de México, los técnicos que diseñan estructuralmente las viviendas recurren a lo aplicable de las normas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Gobierno del Distrito Federal, 2004), pero no es frecuente que se especifique el concreto que se debe utilizar, así como los parámetros básicos que determinan la durabilidad, como son los anchos de grietas permisibles, las cuantías mínimas de refuerzo y el recubrimiento del concreto para el acero de refuerzo (Sánchez, 2002). Para los claros que usualmente se tienen en la vivienda de interés social, la resistencia de las losas no representa un problema como se puede ilustrar en los siguientes ejemplos.

Supóngase un tablero de cinco por cinco metros para entrepiso de una vivienda y la carga viva de 170 kg/m^2 ; la carga total, considerando 10 cm de espesor de losa, es de 520 kg/m^2 . Al tomar en cuenta un factor de carga de 1.4, la carga de diseño resulta de 728 kg/m^2 . Según la tabla de coeficientes de la norma (Gobierno del Distrito Federal, 2004), para el caso más desfavorable, se establece un valor de 500, por lo tanto, el momento de diseño resulta de $M_u = (728)(5)^2(500)(10^{-4}) = 910 \text{ kg/m}$. Considerando $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ y un recubrimiento libre de 15 mm, se obtiene un área de refuerzo de $3.74 \text{ cm}^2/\text{m}$, lo que significa una separación del refuerzo de 20 cm si se usan barras de $3/8"$ (10 mm), grado 42.

Este resultado indica que en la mayoría de los casos un armado razonable puede resolver el requerimiento de resistencia (Folino & Etse, 2011); pero al tomar en cuenta el peralte efectivo para controlar las deformaciones, la norma recomienda el perímetro entre 250 para concreto clase 1 y entre 170 para concreto clase 2. Para el cálculo del perímetro se establece que los claros discontinuos se multipliquen por 1.5 cuando los apoyos no son monolíticos, o por 1.25 cuando sí lo son. Además, cuando w es mayor de 380 kg/m^2 , se debe multiplicar por el factor $0.034 (f_{sw})^{0.25}$, donde f_s se puede considerar como igual a $0.6 f_y$.

Antes de continuar, conviene recordar que el concreto clase 1 debe contar con un peso volumétrico no menor a 2200 kg/m^3 y un agregado con peso específico no menor a 2.6, lo cual obliga en la práctica a utilizar agregado triturado, ya sea calizo o basáltico. El concreto clase 2 debe contar con un peso volumétrico entre 1900 y 2200 kg/m^3 y un agregado con peso específico no menor a 2.3. En la práctica se usa generalmente el agregado andesítico de mina o triturado. Con el propósito de continuar con el ejemplo propuesto se pueden suponer dos casos extremos: el caso favorable corresponde a un tablero con todos los bordes continuos y monolíticos; el caso desfavorable corresponde a un tablero con todos los bordes discontinuos no monolíticos. Respecto al recubrimiento libre se pueden establecer tres casos usuales de acuerdo con la norma: 15 mm cuando no existan condiciones agresivas (sin considerar efectos de durabilidad), 20 mm para prevenir corrosión en losas interiores, y 26 mm para lo mismo en losas exteriores (Castro, Veleza & Balancán, 1997; Kurtis & Mehra, 1997). Al tomar en cuenta estas condiciones, se puede calcular el peralte requerido para los casos favorable y desfavorable considerando la clase de concreto y el recubrimiento requerido. El resumen de los resultados se presenta en las tablas 1 y 2.

Tabla 1
TABLERO DE 5 POR 5 M. CASO FAVORABLE

Concreto clase	d (cm)	Recubrimiento (mm)	h (cm)	Separación #3	
				Flexión	Contracción
1	8.64	15	11	23.4	21.5
		20	12	22.3	19.7
		26	12.5	21.8	18.9
2	12.71	15	15	30	15.4
		2	15.5	29.2	15.2
		26	16.5	28.2	14.3

Tabla 2
TABLERO DE 5 POR 5 M. CASO DESFAVORABLE

Concreto clase	d (cm)	Recubrimiento (mm)	h (cm)	Separación #3 (cm)	
				Flexión	Contracción
1	12.96	15	15.5	29.8	15.2
		20	16.0	29.2	14.8
		26	16.5	28.7	13.3
2	19.06	15	21.5	36.3	22.0*
		20	22.0	35.7	21.5*
		26	22.5	35.2	21.0*

* En dos lechos de refuerzo

Resulta importante destacar que la cuantía de refuerzo está regida por el requisito de contracción y no el de resistencia (González & Robles, 2000). Al emprender la revisión de otros aspectos que se deben considerar en el diseño, se tiene lo siguiente: el requerimiento de refuerzo mínimo por flexión es de 2.0 cm^2 por metro aproximadamente, lo que se traduce en barras de $3/8''$ cada 35 cm. En cuanto al refuerzo mínimo por cambios volumétricos, se requiere de 1.43 cm^2 para casos de losas interiores y de 2.1 cm^2 para losas exteriores. Con el criterio práctico de proporcionar una relación de refuerzo mínima de 0.002 para losas interiores y de 0.003 para exteriores, para el caso del ejemplo, se requiere un área de acero de 2.0 cm^2 , o sea barras de $3/8''$ a cada 35 cm para losas interiores, y 3.0 cm^2 , barras a cada 20 cm, para losas exteriores. Para espesores mayores, el requerimiento aumenta de tal manera que, cuando se utiliza concreto de clase 2, el espesor requerido puede ser muy alto: 22.5 cm para el caso más desfavorable y, por lo tanto, refuerzo de barras de $3/8''$ a cada 20 cm, pero en dos capas o lechos.

Se pueden hacer cálculos similares para otros claros, por ejemplo, para un tablero de cuatro por cuatro metros. Para el caso favorable, el peralte total es de 10 cm si se utiliza concreto clase uno; para losas construidas con concreto clase dos, el peralte total debe ser de 12.5 cm, 13.0 cm y 14 cm respectivamente para las condiciones de protección del acero mencionadas. Para el caso desfavorable con concreto clase uno, el peralte total debe ser 13 cm, 13.5 cm o 14 cm; y con concreto clase dos, 18 cm, 18.5 cm o 19 cm. En cuanto a la separación del refuerzo, rige en todos los casos la correspondiente a contracción: para el caso favorable, 20 cm para concreto clase uno y 15 cm para concreto clase dos; para el caso desfavorable, 15 cm para concreto clase uno y 25 cm en dos lechos para concreto clase dos. Para un tablero de 3.5 por 3.5 metros, los resultados son: en el caso favorable, para el concreto clase uno, 10 cm para las tres condiciones, y para el concreto clase dos, 12 cm, 12.5 cm o 13 cm; en el caso desfavorable, concreto clase uno: 12 cm, 12.5 cm o 13 cm, concreto clase dos: 17 cm, 17.5 cm o 18 cm. En cuanto la cuantía de refuerzo, la separación del mismo resulta para el caso favorable 20 cm para concreto clase uno y 18 cm para concreto clase dos; para el caso desfavorable, 18 cm para concreto clase uno y 25 cm en dos lechos para concreto clase dos.

CARACTERÍSTICAS DE LAS LOSAS DE VIVIENDA

En la investigación de Negrete, Cruz, Torres y Vela (2001), que tomó como objeto de análisis la zona centro del Estado de México, principalmente algunas partes de los municipios de Toluca, Metepec, Zinacantepec y Almoloya de Juárez, se estudiaron 185 viviendas de 20 conjuntos habitacionales, así como 35 viviendas que no forman parte de este tipo de conjuntos, pero que se catalogan como de interés social. También se estudiaron 65 viviendas autoconstruidas. En todos los casos se trató de viviendas de una o dos plantas, con losa maciza de concreto reforzado, muros de carga del tipo confinado, cimentación de zapatas o losa de cimentación, y área construida entre 50 y 140 m^2 . De esta manera se establecieron dos grupos: el grupo A de 220 viviendas construidas dentro de los procesos formales y el grupo B de 65 viviendas autoconstruidas. Para fines de este estudio se registraron, para los dos grupos, las siguientes características de las losas:

- a) Peralte nominal en cm: 8, 10, 12 y mayor de 12.
- b) Tipo de refuerzo: barras de $3/8''$ (10 mm) grado 42, varillas de $1/4''$ (6 mm) de alta resistencia, malla electrosoldada de alambre corrugado de alta resistencia, y otros.

- c) Tipo de agregado grueso para fabricar el concreto: triturado de piedra caliza o basáltica, y andesítico de mina.
- d) Claro máximo en m: hasta 3.5, entre 3.5 y 5.0, mayor de 5.0
- e) Apoyos de la losa: monolítico o no monolítico
- f) Desplomo: tolerable (menor a 0.5 %), ligero (0.5% a 1%), moderado (1% a 2%) y severo (mayor a 2%).

Además, se realizaron observaciones sobre los defectos, daños y estado de conservación en cuatro niveles de afectación de acuerdo con lo que se explica en la tabla 3.

Tabla 3
TIPOS DE AFECTACIONES REGISTRADAS EN LAS VIVIENDAS

<i>Concepto</i>	<i>Nivel A</i>	<i>Nivel B</i>	<i>Nivel C</i>	<i>Nivel D</i>
Segregación del concreto	Área afectada menor a 5%	5% a 10%	10% a 15%	Mayor a 15%
Grietas	Ancho menor a 0.2 mm	0.2 a 0.3 mm	0.3 a .05 mm	Mayor a 0.5 mm
Humedad	Área afectada menor a 5%	5% a 10%	10% a 15%	Mayor a 15%
Deformaciones	Ligero L/300 o menor	Moderado de L/300 a L/200	Severo de L/200 a L/150	Muy severo, mayor de L/150
Corrosión del acero	Incipiente, pequeñas manchas	Ligero, manchas continuas	Moderado, recubrimiento afectado	Severo, pérdida de recubrimiento, disminución del área de acero

Adicionalmente y de forma aleatoria se hicieron determinaciones con pruebas no destructivas en seis viviendas de cada grupo. Éstas consistieron en:

- a) Detección del potencial de carbonatación mediante aplicación de reactivo.
- b) Medición de la dureza del concreto con 12 lecturas del esclerómetro en cinco zonas de cada vivienda.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos para las características de las losas se resumen en la tabla 4 para los dos grupos de viviendas. Para los niveles de afectación los resultados se resumen en la tabla 5 para el grupo A y en la tabla 6 para el grupo B.

Tabla 4
CARACTERÍSTICAS DE LAS VIVIENDAS

<i>Característica</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Grupo A (220)</i>		<i>Grupo B (65)</i>	
		<i>Número</i>	<i>%</i>	<i>Número</i>	<i>%</i>
Peralte (cm)	8	2	0.9	0	0
	10	213	96.8	55	84.6
	12	5	2.3	9	13.9
	Mayor de 12	0	0	1	1.5

Continuación...

Refuerzo	3/8" G42	206	94	63	96.9
	1/4" AR	8	3.6	0	0
	Malla	6	2.7	0	0
	Otro	0	0	2	3.1
Agregado	Triturado	12	5.5	3	4.6
	De mina	208	94.5	62	95.4
Claro (m)	Mayor de 5	5	2.3	18	27.7
	Entre 3.5 y 5	130	59	43	66.2
	Menor 3.5	85	38.7	4	6.1
Tipo apoyo	Monolítico	219	97.7	59	90.8
	No monolítico	5	2.3	6	9.2

Tabla 5
NIVEL DE AFECTACIÓN EN LAS VIVIENDAS DEL GRUPO A (%)

Categoría	Nivel				Total
	A	B	C	D	
Segregación	28.2	2.3	0.9	0.4	31.8
Grietas	38.2	22.7	3.6	1.4	65.9
Humedad	40.9	20.5	4.5	2.3	68.2
Corrosión	1.4	0.9	0	0	2.3
Deformaciones	13.6	3.6	1.4	0.9	19.5
Desplomo	6.8	2.3	0.5	0	9.6

Tabla 6
NIVEL DE AFECTACIÓN EN LAS VIVIENDAS DEL GRUPO B (%)

Categoría	Nivel				Total
	A	B	C	D	
Segregación	41.5	20	12.3	3.1	76.9
Grietas	58.5	16.9	10.8	3.1	89.3
Humedad	54.8	21.5	12.3	7.7	96.3
Corrosión	4.6	3.1	3.1	1.5	12.3
Deformaciones	16.9	7.7	4.6	3.1	32.3
Desplomo	18.4	4.6	3.0	1.5	27.5

También se practicaron al azar pruebas de laboratorio en seis viviendas de cada grupo con el método del reactivo para detectar la profundidad de carbonatación en las losas. En el grupo A se encontró un valor medio de 2.5 mm con intervalo de 1 a 4 mm, mientras que en el grupo B la media fue de 3.2 con un intervalo de 1.5 a 5 milímetros.

Con el esclerómetro se midió la dureza del concreto en diez zonas de cada vivienda. Los resultados por vivienda indican: para el grupo A, el promedio más bajo fue de 28 y el más alto, de 38; el rango más bajo, de 11 y el más alto, de 23; para el grupo B, el promedio más bajo fue de 31 y el más alto, de 43; el rango más bajo, de 15, y el más alto, de 28. Los resultados generales son que el grupo A tiene un promedio de 35 y un rango de 27; el grupo B, un promedio de 41 y un rango de 32.

El peralte de las losas generalmente se establece de forma empírica y en su mayoría de 10 cm, independientemente del claro de los tableros y de las condiciones de carga. Pocos casos del grupo A tienen peralte menor de 10 cm, aspecto que no se presenta en las viviendas del grupo B. En cambio, los peraltes de 12 cm o mayores son poco frecuentes en el grupo A, mientras que en el grupo B el porcentaje es significativo (14%). Se puede establecer que no se sigue la normativa en cuanto al control de deformaciones, pues los peraltes de las losas son menores y, en muchos casos, mucho menores que lo establecido por la norma. Se desconoce en cuántos de estos casos se hayan revisado las deformaciones como lo establece la normativa. En la mayoría de las viviendas, las losas se refuerzan con barras de 3/8" (10mm); aproximadamente 6% de las viviendas del grupo A utilizan refuerzo de alta resistencia y de bajo diámetro, lo que no ocurre en las viviendas del grupo B. Con base en el tipo de agregado se puede establecer que el concreto en más de 90% de los casos es de clase dos, sólo en 6% de las viviendas del grupo A se percibe alguna tendencia a usar concretos de mayor densidad. En cuanto al claro de los tableros de las losas, aproximadamente 60% en el grupo A tiene claros entre 3.5 y 5 m, 38% con claros menores de 3.5 m y solamente 2% con claros mayores de 5m, mientras que en el grupo B el porcentaje con claros mayores a 5 m es significativo (28%).

De lo analizado, se puede establecer que en la autoconstrucción la gente prefiere espacios mayores que los que se ofertan en la vivienda formal, ya que los desarrolladores de vivienda tienden a espacios cada vez más reducidos, aparentemente sin atender los gustos y necesidades de los usuarios. En cuanto a los apoyos, lo más frecuente es que las losas se construyan monolíticamente con las trabes o cadenas de borde, solamente 2% del grupo A y 9% del grupo B se construyeron con la losa apoyada directamente en los muros.

Al analizar las afectaciones más usuales en las losas de las viviendas, resulta muy significativo el porcentaje de daños, principalmente en lo relacionado con segregación, agrietamientos y humedad. En el grupo B se presentan más daños que en el grupo A, excepto en las deformaciones, cuya tendencia es aproximadamente la misma. Como podía esperarse, los daños en la mayoría de los casos son leves; no afectan, de manera significativa, la resistencia, pero sí la durabilidad en caso de que no sean tratados debidamente.

Definitivamente no se están utilizando en la vivienda concretos de características adecuadas, además de que la supervisión de los procesos constructivos y la calidad de mano de obra se descuidan, lo cual preocupa de principal manera en las viviendas del grupo A, ya que se supone que el diseño y el proceso constructivo deberían estar a cargo de profesionistas calificados. Aunque las pruebas fueron pocas en número, permiten identificar variaciones importantes del concreto, lo que se reflejó, por ejemplo, en las pruebas de dureza, lo cual supone procedimientos poco controlados en la mezcla, transporte, colocación y curado del concreto en las losas.

Asimismo, se observa una correlación en ambos grupos en cuanto a problemas de agrietamiento y humedad. Las grietas en alguna medida se pueden justificar, ya que en las hipótesis de cálculo en el diseño de las estructuras de concreto reforzado, en general, y las losas, en particular, se suponen niveles de carga mayores a las que provocan el agrietamiento, lo que no es adecuado es que en la mayoría de los casos las grietas tengan su origen en el efecto

de contracción y no en la generación de esfuerzos por flexión. La humedad es un problema preocupante debido a que la mayoría de los casos las losas de azotea son horizontales y no cuentan con sistema de drenaje apropiado.

En las viviendas del grupo A, los sistemas de impermeabilización son muy sencillos y poco duraderos, mientras que en el grupo B es frecuente que se omitan debido a la carencia de recursos de los dueños. Resulta interesante observar que en la autoconstrucción se recurre con frecuencia al apisonado, supuestamente para lograr impermeabilidad, pero no se cuida que esta operación se haga antes del fraguado inicial, provocando, así, mayores problemas de los que se tratan de prevenir. Los casos de corrosión del acero de refuerzo son poco frecuentes, siendo mayores en las viviendas del grupo B. Esto posiblemente se deba a lo benigno de las condiciones ambientales prevalecientes en la zona de estudio y no a las prácticas constructivas, puesto que en ambos grupos el recubrimiento de concreto es muy bajo e inexistente en algunos casos. Además, las pruebas de carbonatación indican valores mayores a los recomendados (Mena, 2005). En cuanto a la profundidad de la carbonatación se establece por lógica que no debería ser mayor que el recubrimiento de concreto para el acero, aspecto que en la mayoría de los casos estudiados no se cumple. Lo anterior permite establecer que las condiciones para problemas mayores de corrosión están presentes (Swami, 2005) y, por lo tanto, hay un alta probabilidad de aumento en la corrosión del acero de refuerzo. Las mismas observaciones se pueden hacer respecto a las deformaciones y el agrietamiento.

Se debe añadir que no se contó con datos suficientes para relacionar algunos daños con la edad de la construcción, pero de forma general se puede establecer que es muy probable que aumenten debido a que en su gran mayoría las viviendas analizadas no contaban con más de cinco años y no es usual que los dueños inviertan en su mantenimiento (Ellingwood, 2007).

CONCLUSIONES

- No se cumplen los aspectos normativos principalmente en lo referente al peralte, para controlar las deformaciones, y las cuantías de refuerzo, para controlar los agrietamientos por contracción.
- No se establecen especificaciones claras para la elaboración de concreto. La mayoría de las ocasiones se especifica solamente la resistencia a compresión, sin considerar otras características que han demostrado ser muy importantes en la durabilidad, como la densidad y sanidad de los agregados, la relación agua-cemento, el peso volumétrico del concreto fresco y el revenimiento.
- El agrietamiento que se genera a consecuencia de las bajas cuantías de refuerzo y los bajos módulos elásticos se incrementa más allá de lo permisible, provocando las frecuentes humedades y con el tiempo la corrosión del acero de refuerzo.
- Considerando el análisis de los resultados, parece que el diseño de las losas se hace por procedimientos casi empíricos, sin atender debidamente los parámetros básicos que son el espesor, las cuantías de refuerzo y la calidad del concreto.

Tomando en cuenta lo expuesto, las siguientes recomendaciones parecen obvias:

- El diseño estructural de las losas para vivienda debe considerar, además de la resistencia, los requisitos de servicio y durabilidad, lo cual implica por lo menos: la revisión del peralte para controlar las deformaciones, la cuantía de refuerzo para controlar la contracción del concreto, y un recubrimiento suficiente para prevenir la corrosión del acero de refuerzo.
- La calidad del concreto debe quedar claramente establecida desde el proyecto estructural, donde se especifique no sólo la resistencia a compresión, sino la densidad del agregado, el peso volumétrico, la relación agua cemento y el revenimiento. Una buena práctica es especificar el concreto de clase 1 con revenimiento entre 25 y 75 mm.
- Por su parte, el constructor debe hacer lo necesario para cumplir las especificaciones del proyecto, para lograr losas sin defectos y durables. Principalmente, debe lograr buena compactación para evitar la segregación, curar el concreto con métodos adecuados, así como utilizar silletas u otros elementos efectivos para garantizar el recubrimiento especificado. Además, es importante sobre dosificar el concreto para lograr un valor medio superior al especificado, de otra manera la probabilidad de tener resistencias bajas resulta muy alta.
- En cuanto a la autoconstrucción, parece estar dando buenos resultados la campaña que se hace desde diferentes instancias para mejorar esta actividad; sin embargo, hacen falta mayores esfuerzos.
- Finalmente, se debe mencionar que no es justificable realizar ahorros mal entendidos que comprometan la seguridad, el servicio y la durabilidad de las viviendas. Seguramente el usuario de la vivienda estará dispuesto a pagar por el extra si se le explican adecuadamente los argumentos y, sobre todo, si observa los resultados.

REFERENCIAS

- American Concrete Institute. (2005). *ACI Manual of Concrete Practice* [Comités 201, 222 y 218].
- Castro, P., Veleza, L. & Balancán, M. (1997). Corrosion of reinforced concrete in a tropical marine environment and accelerated test. *Construction and Building Materials*, 11(2), 75-81.
- Ellingwood, B. (2007). Risk-informed evaluation of civil infrastructure subjected to extreme events. *I Symposium on Natural Risk and Reliability Analyses Applied to the Planning and Design of Civil Works for the Electrical Industry in México*.
- Folino, P. & Etse, G. (2011). Validation of performance-dependent failure criterion for concretes. *ACI Materials Journal*, 108(3), 261 -269.
- Gobierno del Distrito Federal. (2004, 6 de octubre). Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, 1 (103-BIS), 88-194.
- González, O. & Robles, F. (2000). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado* (3a. ed.). México: Limusa Noriega Editores.

- Kurtis, K. E. & Mehta, K. (1997). A critical review of deterioration of concrete due to corrosion of reinforcing steel. *ACI Special Publications*, 170(27), 535-554.
- Mena, M. (2005). *Durabilidad de las estructuras de concreto en México*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Negrete, S., Cruz Moreno, J. L., Torres Arce, I. & Vela Alaman, D. (2001). *Estudio de las características de la vivienda construida con losas de concreto reforzado en el Estado de México*. Tesis de licenciatura no publicada. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Huizquilucan, Estado de México.
- Sánchez de Guzmán, D. (2002). *Durabilidad en patología del concreto*. Colombia: Asociación Colombiana de Productores de Concreto.
- Swami, R. N. (2005). Desing for durability: A hollistic material and structural strategy. *International Symposium of Durability of Concrete*, Universidad Autónoma de Nuevo León.