



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

EVALUACIÓN DE UN TANQUE ELEVADO DE CONCRETO ARMADO USANDO CRITERIOS DE DURABILIDAD.

J. G. Andrade-Tinajero¹, A. de L. Del Valle-Moreno², W. Martínez-Molina¹, E. M. Alonso-Guzman¹, A. A. Torres-Acosta²

1 Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. Francisco J. Mújica S/N, Col. Felicitas del Río, C.P. 58040, Morelia, Mich.

2 Instituto Mexicano del Transporte. Km 12+000, Carretera Querétaro-Galindo, C.P. 76700, Sanfandila, Qro.

RESUMEN

En el presente estudio se analiza, desde el punto de vista de durabilidad un tanque elevado de concreto armado tipo Intze (contenedor de agua) construido a mediados de la década de los 70's; el cual se encuentra fuera de servicio. Dicho análisis es con la finalidad de determinar sus condiciones de servicio, dado la incertidumbre de peligrosidad ante los transeúntes; además se busca definir las zonas con daños para su probable reparación. Primeramente se hizo un levantamiento de daños visibles, posteriormente se realizaron ensayos en el concreto, para evaluar su calidad y en el acero para determinar las zonas con mayor corrosión. Para el diagnóstico de los materiales se usaron los criterios de evaluación que establece el manual Durar. Una vez determinado el estado actual, y auxiliándose en un estudio previo sobre su comportamiento sísmico, se realizan propuestas encaminadas al probable cambio de uso del tanque.

Palabras claves: durabilidad, tanque, concreto armado, calidad, corrosión

ABSTRACT

This study analyses, from the durability point of view, a reinforced concrete tank water storage Intze type, built in the mid 70's; currently is out of service. This analysis is for to determine the service conditions, given the uncertainty of the threat that could pose to pedestrians. Also seeks to define areas for likely damage repair. First of all a visible damage survey was done, after, were made tests in concrete in order to assess its quality and in the steel for determination of corroded areas. Evaluation criteria established on the manual Durar were used for the diagnosis of the materials. Once determined the current state, and with the help from a previous study in the tank on its seismic behavior, were made two proposals aimed to a possible change of use of the tank.

Key words: durability, tank, reinforced concrete, quality, corrosion

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se reporta un número cada día mayor de estructuras prematuramente deterioradas debido principalmente a la corrosión del acero de refuerzo, este problema se debe en gran medida a la falta de criterios de durabilidad en el diseño y proceso constructivo, así como del medio en que se encuentran dichas estructuras, es así que estas no alcanzan a prestar su servicio durante el periodo de tiempo para el que fueron diseñadas en su concepción^{1, 2}. En México se han realizado diversos estudios y propuestas orientados a dar a conocer las ventajas que tiene el diseñar estructuras de concreto reforzado con criterios de durabilidad, pero, no se ha enfatizado en la importancia de realizar un estudio por durabilidad previo a la reparación de estructuras, con el propósito de optimizar los recursos. El presente artículo da a conocer la evaluación y diagnóstico de la durabilidad de una estructura, como punto de partida en los trabajos de reparación, en caso de ser viable o en su defecto la justificación para que la estructura sea demolida.

La estructura en estudio es un tanque con fondo troncocónico, (tipo Intze) el cual consta de dos partes principales: el tanque de almacenamiento o contenedor y la estructura de soporte³; según vecinos del lugar se construyó a mediados de la década de los 70's y durante mucho tiempo ha estado en desuso. En Yucatán existen algunos tanques de este tipo construidos a mediados de la década de los 60's⁴ (Figura 1), los cuales actualmente se encuentran en un grado de deterioro por corrosión muy avanzado, ver Figura 2.



Figura 1. Construcción de tanques tipo Intze en la década de los 60's en Yucatán⁴



Figura 2. Tanque en Progreso Yuc. actualmente (a) y (b), tanque en estudio en Morelia Mich. (c)

METODOLOGÍA

Procedimientos de inspección

Consistieron en dos etapas: inspección preliminar e inspección detallada. La primera permite tener una idea general del contexto que rodea a la estructura en cuestión⁵, se elaboró una ficha de

antecedentes de la estructura y del medio ambiente, además se realizó un examen visual general de la estructura para cuantificar y tipificar los daños. La segunda se realizó con base en la inspección preliminar; primeramente se efectuó un levantamiento de daños detallado, posteriormente se realizó un plan de trabajo, estableciendo las zonas y equipos de ensayo tanto para el concreto como para el acero de refuerzo.

Métodos de ensayo

Se extrajeron 5 núcleos conforme a la norma NMX-C-169-ONNCCE-2009, para realizar ensayos en el concreto; inmediatamente después de la extracción, se efectuó el ensayo de profundidad de carbonatación (X_{CO_2}) con solución indicadora acido-base (fenolftaleína). Se realizó el ensayo de resistividad eléctrica (ρ) con la finalidad de evaluar el riesgo de corrosión. Con el objetivo de verificar la homogeneidad y calidad relativa del concreto se efectuó el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico (VPU). Con la finalidad de evaluar la dureza superficial, uniformidad del concreto y para relacionar el índice esclerométrico (IE) con el esfuerzo a la compresión (f'_c), se realizó el ensayo de esclerometría de acuerdo a la norma NMX-C-192-ONNCCE-2006, este ensayo se ejecutó en trabes y columnas del primer nivel de la estructura de soporte. El ensayo de resistencia a la compresión se efectuó conforme a la norma NMX-C-083-2002-ONNCCE, en 4 de los núcleos extraídos. Se realizaron las pruebas de absorción capilar (metodología propuesta por Fagerlound) y porosidad; como medida de la calidad y compacidad, conforme a la norma ASTM C-1585-04. Para determinar la profundidad y localización del acero se utilizó un pacómetro digital. Se midió el potencial de corrosión (E_{corr}) conforme a la norma ASTM C-876, a cada 50 cm en las 4 barras principales de acero de trabes y columnas del primer nivel. Se ejecutó el ensayo para determinar la velocidad de corrosión (i_{corr}), mediante un corrosímetro en las zonas de mayor probabilidad de corrosión de acuerdo al ensayo E_{corr} .

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Del levantamiento de daños se obtuvieron los datos de la Tabla 1, en donde se muestra la cantidad de daños, así como la clasificación según el código empleado por el manual Durar.

Tabla 1. Cuantificación y tipificación de daños

<i>Código</i>	<i>Daño</i>	<i>Cantidad</i>
A1	Grietas o fisuras	47
B4	Manchas de humedad	24
D2	Nidos de abeja(Cangrejera)	21
A2	Red de grietas	18
E1	Junta de construcción	18
F1	Cimbra muy marcada	13
C3	Delaminación	12
C2	Concreto fofo	5
B3	Manchas de óxido	4
C4	Intemperismo	4

La Tabla 2 muestra los resultados de la profundidad de carbonatación (X_{CO_2}) y recubrimiento de las varillas (e_c), la constante de carbonatación (K_{CO_2}) define la calidad del concreto y es proporcional a X_{CO_2} en mm sobre la raíz del tiempo de la estructura en años⁵. El tiempo en el cual la carbonatación alcanzará el refuerzo se define como el e_c sobre la K_{CO_2} elevados al cuadrado.

Obsérvese que en ningún elemento $X_{CO_2} > e_c$, en la columna 6-I donde el avance del frente carbonatado es mayor se prevé que la carbonatación alcance el acero más exterior (25 mm) en 120 años a partir de su construcción.

Tabla 2. Resultados del ensayo de carbonatación.

Elemento	X_{CO_2} (mm)	e_c (mm)	K_{CO_2} (mm/año ^{1/2})	Clasificación
COL. 2-I	7.43	38	1.238	Concreto de buena calidad
COL. 3-I	7.32	31	1.220	Concreto de buena calidad
COL. 6-I	13.72	25	2.287	Concreto de buena calidad
COL. 8-I	4.65	29	0.775	Concreto de buena calidad

En la Figura 3 se muestran los resultados del ensayo de ρ contra X_{CO_2} . Se observa que todos los elementos muestran un riesgo moderado de corrosión con base a ρ y de acuerdo con la bibliografía⁵.

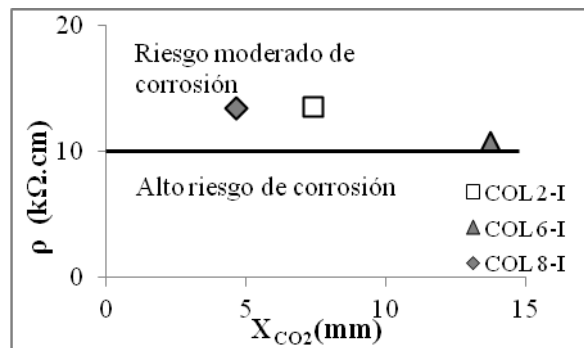


Figura 3. Resistividad eléctrica Vs Espesor carbonatado.

El manual Durar establece los criterios de evaluación de la calidad del concreto en función de la VPU, de acuerdo con este ensayo los resultados se ubican en el rango de calidad alta como puede verse en la Figura 4.

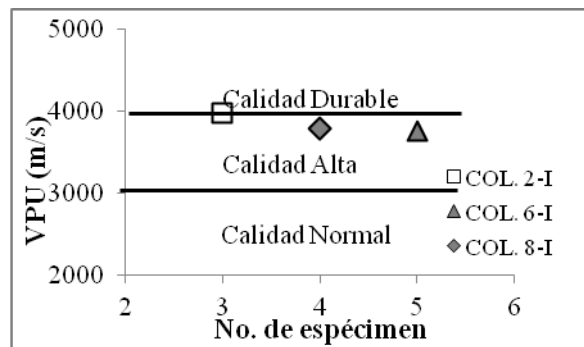


Figura 4. Resultados del ensayo de velocidad de pulso ultrasónico.

Existen limitantes para correlacionar el IE con la f'_c en concretos viejos, ya que los esclerómetros son calibrados con especímenes en laboratorio, además los resultados de esta prueba pueden ser elevados dado que la carbonatación tiende a endurecer al concreto, por lo que este ensayo es útil sólo para tener una idea de la uniformidad superficial del concreto. En la Figura 5 se muestra como referencia el promedio del f'_c de los núcleos ensayados a compresión, convertido a IE mediante una tabla proporcionada por el fabricante del esclerómetro usado; el 84% del total de lecturas de las traveses y el 90.5% en columnas son mayores al f'_c lo que significa que el concreto es homogéneo tanto en columnas como en traveses.

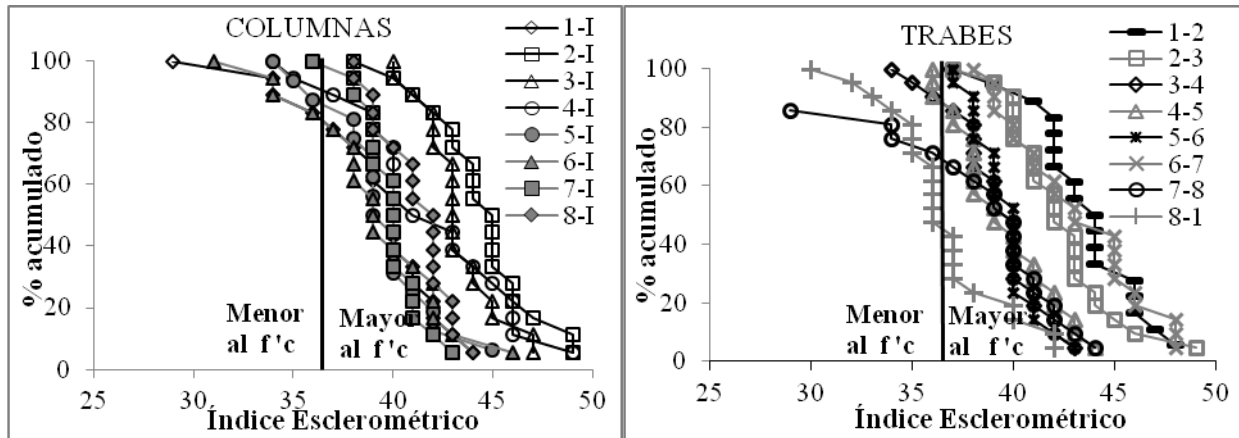


Figura 5. Porcentaje acumulado Vs Índice esclerométrico

Con la finalidad de observar la diferencia entre los valores de IE en las zonas carbonatada y no carbonatada se muestra la Tabla 3 donde se aprecia un incremento del 21% aprox. del IE en la zona carbonatada, además de la carbonatación, pueden influir otros factores como la geometría, la zona restringida, etc⁶. por lo que estos resultados deben tomarse como una referencia solamente.

Tabla 3. Variación del IE en zona carbonatada y no carbonatada

Elemento	IE en zona no carbonatada	IE en zona carbonatada	Diferencia (%)
COL. 2-I	36.7	44.3	20.7
COL. 8-I	32.5	39.5	21.5

La Figura 6 muestra los resultados del ensayo de resistencia a la compresión (f'c), se puede ver que todos los datos obtenidos equivalen a una durabilidad moderada de acuerdo al manual Durar.

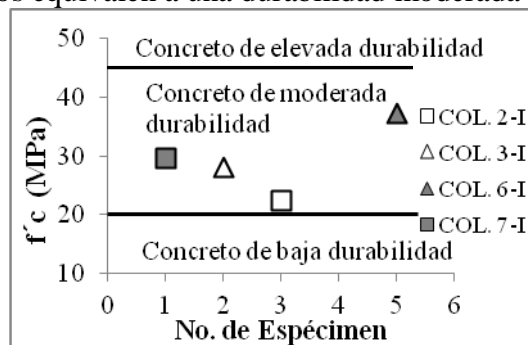


Figura 6. Clasificación del concreto en función del esfuerzo a la compresión.

La durabilidad del concreto está en función de su calidad, la compacidad es una medida directa de su calidad, dicha compacidad se puede medir a través de la absorción, con base en las características del medio ambiente la literatura⁵ recomienda los siguientes valores de absorción capilar: Ambientes severos $S \leq 3.0 \text{ mm/h}^{1/2}$. Ambientes menos severos hasta $6.0 \text{ mm/h}^{1/2}$. La Figura 7 muestra todos los resultados con absorción capilar menor a la absorción de frontera para el ambiente de la estructura, lo que muestra un concreto de buena compacidad.

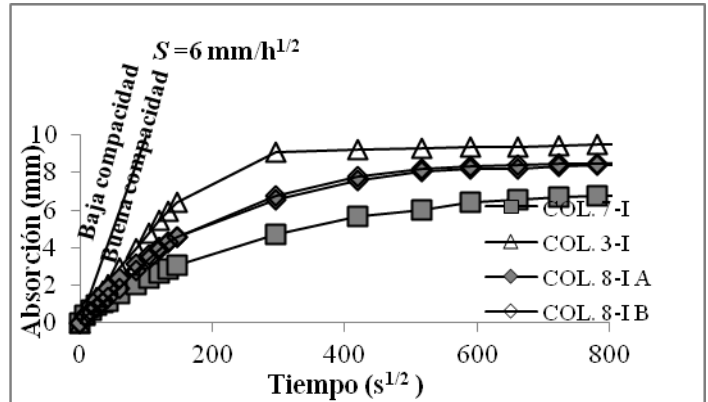


Figura 7. Clasificación de la compacidad del concreto en función de la absorción capilar

En la Figura 8 se observa que la porosidad es elevada, esto es que el concreto tiene muchos poros, sin embargo éstos no están interconectados entre ellos, motivo por el cual la absorción capilar es baja, (Figura 7) por lo tanto la probabilidad de que penetren los agentes agresivos es baja también.



Figura 8. Calidad del concreto en función de la porosidad total

Las mediciones de E_{corr} expresan la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo, en la Figura 9 se puede ver que la columna 5-I es la que presenta potenciales más negativos. En las travesas todos los resultados se ubican en la zona de baja probabilidad de corrosión, lo cual se puede atribuir a que el contenedor protege a las travesas de la lluvia, y no están expuestas a la humedad del suelo como lo están las columnas.

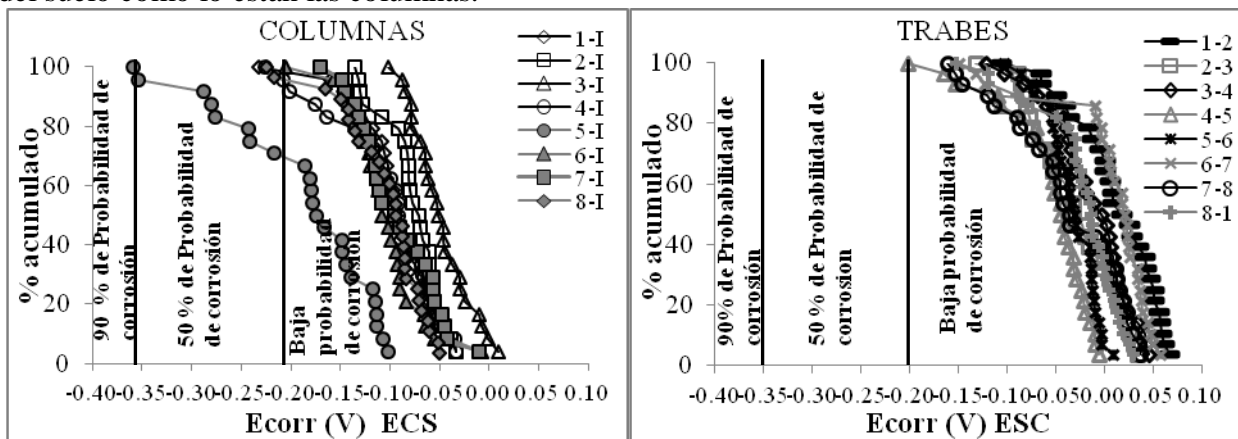


Figura 9. Porcentaje acumulado Vs Potencial de corrosión, en columnas.

El equipo utilizado para la medir la i_{corr} del acero también mide la ρ del concreto, estas dos mediciones se ejecutaron en la columna 5-I, puesto que presentó los resultados de E_{corr} más negativos (Figura 9) además presentó mayores daños visuales; en la Figura 10 se muestran los resultados de la i_{corr} contra ρ para las mediciones realizadas en dicha columna. Se puede apreciar que al incrementar la ρ , disminuye la i_{corr} y viceversa, además se puede observar que cuando la $\rho > 200$ k Ω .cm (donde se considera poco riesgo de corrosión) aunque si existe corrosión, su velocidad es relativamente baja.

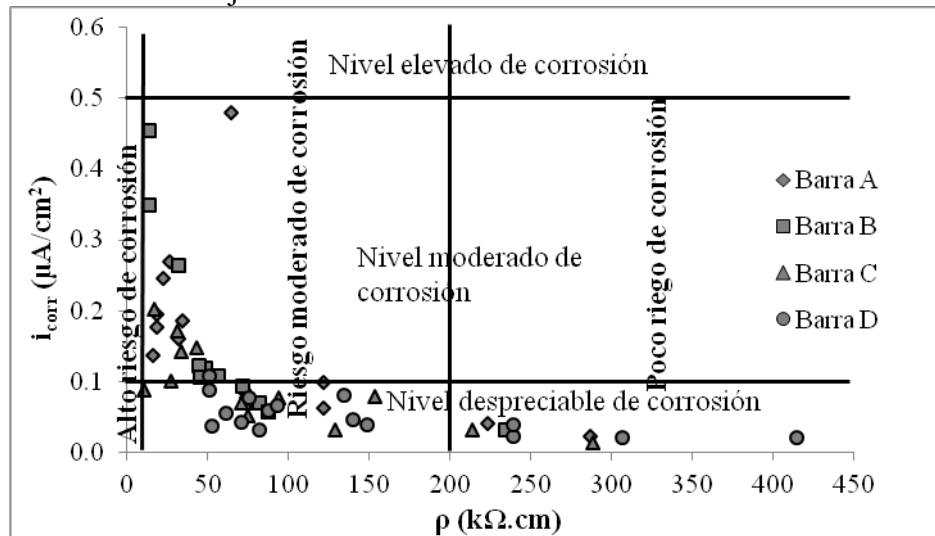


Figura 10. Velocidad de corrosión (i_{corr}) Vs Resistividad eléctrica (ρ), en columna 5-I

Considerando el caso más crítico de i_{corr} ($0.479 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ Figura 10) y convirtiéndolo a unidades de penetración mediante la ley de Faraday. Se propone utilizar este dato para estimar la pérdida de capacidad portante estructural.

$$1 \mu\text{A}/\text{cm}^2 = 11.58 \mu\text{m}/\text{año} \quad \therefore \quad 0.479 \mu\text{A}/\text{cm}^2 = 5.546 \mu\text{m}/\text{año}$$

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Recomendaciones.

Dado que la estructura incrementaría significativamente su periodo de vibrar con el contenedor lleno de agua⁷ es recomendable no llenarse; Al no poder ser utilizada para el objetivo inicial, y tomando como base los resultados obtenidos se ha optado por hacer dos propuestas encaminadas al cambio de uso de la estructura; se propone construir cubículos, oficinas o salas de estudio, que no demanden gran cantidad de peso, como lo demandarían bodegas.

Propuesta 1 Consiste en demoler el contenedor con la finalidad de quitar masa a la estructura de soporte, lo que además desde el punto de vista sísmico reduciría los momentos por torsión debidos a la excentricidad del tanque. Ya que se ha visto que en tanques elevados apoyados en una plataforma formada por multicolumnas presentan un tipo de falla originada principalmente por torsión del contenedor⁷.

La construcción puede ser con materiales comunes, como son armado de varillas de acero, tabique, herrería, etc. Teniendo especial cuidado en dejar juntas sísmica, para evitar rigidizar la estructura. La escalera de acceso puede construirse en el exterior sujetándose de las columnas y traveses, en forma de zigzag.

Propuesta 2 En esta propuesta se propone mantener el contenedor, ya que significa un ahorro económico importante, y para no adicionar demasiado peso se pueden utilizar materiales ligeros, p. ej. los muros pueden ser de tabla roca, cancelería con marcos de aluminio y vidrios. La escalera puede ser de acero y construirse independiente del tanque, mediante un poste tubular de acero hincado en el terreno y apoyándose en el contenedor solamente, y en torno al poste gire la escalera.

Conclusiones.

La carbonatación no es el mecanismo de corrosión en el acero de la estructura, puesto $X_{CO_2} < e_c$, además las K_{CO_2} no son considerables y no presentan peligro para el acero.

El IE no representa con exactitud el $f'c$, debido a la cantidad de factores que intervienen en su resultado, sin embargo se puede deducir que el concreto es relativamente homogéneo, lo que implica una buena calidad del mismo.

Debido a que no se tienen datos de $f'c$ de proyecto, es difícil saber si el tanque ha perdido capacidad de carga, pero los datos del presente estudio, significan un avance en cuanto a información para posteriores estudios.

Los ensayos de porosidad total, muestran resultados que clasifican al concreto como de baja calidad.

Los resultados de los ensayos en el acero, indican que el acero se corroe a una velocidad que se considera nivel de corrosión moderado.

Dado que en la actualidad no existe manera de correlacionar directamente la durabilidad con la pérdida de capacidad estructural, es necesario que en el futuro un estudio de durabilidad se complemente con el cálculo estructural que considere las degradaciones que han sufrido tanto el concreto como el acero y así pueda determinarse la vida remanente de la estructura.

La estructura se encuentra en el periodo de vida residual, donde es el momento para reparaciones, y así alargar un poco más este periodo.

REFERENCIAS

- 1 J. Ávila, J. Genescá, Más allá de la herrumbre (D.F, México, 1996): pp 7-19.
- 2 A. A. Torres, M. Martínez, “Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad”, PT No. 181, IMT-SCT, (2001): pp 4-16.
- 3 T. E. Harmsen, Diseño de estructuras de concreto armado, 4ª Ed., (Lima, Perú. 2005): pp 512-514
- 4 SN “Torres y Tanques de concreto en la Planicie”, Construcción Mexicana, No.9, Año5, pp13, 14.
- 5 Red iberoamericana XV.B. DURAR (Durabilidad de la Armadura), Manual de inspección, evaluación y diagnóstico en estructuras de hormigón armado, CYTED Programa Iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo, (Rio de Janeiro, Brasil. 1997).
- 6 H. L. Chávez-García, “Análisis comparativo entre técnicas no destructivas y destructivas aplicadas a la caracterización del concreto hidráulico elaborado con agregados volcánicos locales y cemento CPC30R RS”, Tesis Doctoral, Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán, (2011)
- 7 H. Hernández, C. Arce, et al., “Comportamiento sísmico de un tanque elevado de concreto reforzado con fondo troncocónico, en XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, (2011) Aguascalientes, Ags, México.