

Un enfoque conceptual holístico para la vida de servicio del concreto: división en diferentes etapas de tiempo

P. Castro-Borges^{1*} , P. Helene² 

*Autor de Contacto: pcastro@cinvestav.mx

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i3.324>

Recepción: 15/06/2018 | Aceptación: 29/08/2018 | Publicación: 31/08/2018

RESUMEN

El objetivo de este documento es analizar y discutir un enfoque conceptual que considera el carácter holístico de la vida de servicio concreta, pero lo divide en siete etapas de tiempo que se pueden comparar, para fines de comprensión, con las de un ser humano. Los conceptos existentes sobre la vida útil pueden ser incompletos con respecto a aquellos que deben considerar toda la vida de una estructura concreta. Una de las razones para esto es la falta de certeza de las predicciones de la vida útil que se basan en modelos que consideran una combinación de etapas de tiempo no claramente definidas. La vida de una estructura tiene muchas similitudes con la de un ser humano. De hecho, no es coincidencia que la ingeniería haya adoptado algunos términos de las ciencias médicas como "patología" para referirse a estructuras con problemas de "salud". El documento analiza la superposición de las diferentes etapas de tiempo, así como las razones por las que los modelos de predicción pueden fallar.

Palabras clave: vida de servicio; durabilidad; estructura.

Citar como: P. Castro-Borges, P. Helene (2018), "Un enfoque conceptual holístico para la vida de servicio del concreto: división en diferentes etapas de tiempo", Revista ALCONPAT, 8 (3), pp. 280-287, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i3.324>

¹ Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida, Carretera Antigua a Progreso, Km 6, 97310, Mérida, Yucatán, México.

² University of Sao Paulo, Escola Politécnica, Av. Prof. Almeida Prado, trav 2, 83 SP 05508-900, Brazil.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2019 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2019.

A holistic conceptual approach to concrete service life: a split into different time-stages

ABSTRACT

The goal of this paper is to analyze and discuss a conceptual approach that considers the holistic character of concrete service life but splits it into seven time-stages that can be compared, for understanding purposes, with those of a human being. The existing concepts about service life may be incomplete regarding those that must consider the whole life of a concrete structure. One of the reasons for this is the lack of certainty of the service life predictions which are based on models that consider a series of non-clearly defined time-stages. The life of a structure has many similarities with that of a human being. In fact, it is no coincidence that engineering has adopted some terms from the medical sciences like “pathology” to refer to structures with problems of “health”. The paper discusses the overlapping of the different time-stages as well as the reasons why the prediction models can fail.

Keywords: service life; durability; structure.

Uma abordagem conceitual holística para a vida útil das estruturas de concreto: divisão em diferentes estágios de tempo

RESUMO

O objetivo deste artigo é analisar e discutir uma abordagem conceitual que considere o caráter holístico da vida útil das estruturas de concreto, dividida em sete estágios de tempo que podem ser comparados, para fins de compreensão, com os de um ser humano. Os conceitos existentes sobre a vida útil podem estar incompletos em relação àqueles que devem considerar toda a vida de uma estrutura de concreto. Uma das razões para isso é a falta de certeza das previsões de vida útil baseadas em modelos que consideram uma mistura de estágios não claramente definidos. A vida de uma estrutura tem muitas semelhanças com a de um ser humano. De fato, não é coincidência que a engenharia tenha adotado alguns termos das ciências médicas como “patologia” para se referir a estruturas com problemas de “saúde”. O artigo discute a sobreposição dos diferentes estágios de tempo, bem como as razões pelas quais os modelos de previsão podem falhar.

Palavras-chave: vida útil; durabilidade; estrutura.

1. INTRODUCCIÓN

La introducción de parámetros para definir la vida útil del hormigón como concepto holístico ha sido muy común durante los últimos treinta años. Estos parámetros son más cuantitativos hoy que hace unos años e incluyen conceptos que están estrechamente relacionados, como capacidad de servicio, funcionalidad, seguridad, confiabilidad y durabilidad. La vida útil se ha definido en códigos, normas y artículos por muchos autores. Cada autor o código tiene sus propias razones para proponer modificaciones e inclusiones a la definición. Tres de las definiciones más comunes de vida útil, tal como se definen en ciertas organizaciones, se detallan a continuación:

- a) American Concrete Institute: el período de tiempo después de la instalación, durante el cual todas las propiedades superan los valores mínimos aceptables cuando se mantienen de forma rutinaria (ACI-365, 200).
- b) Red DURAR: el período de tiempo durante el cual la estructura conserva los requisitos del proyecto en cuanto a seguridad, funcionalidad y estética, sin costos de mantenimiento inesperados (Troconis et al, 1998)

- c) Directiva de productos de construcción (CPD): el período de tiempo durante el cual la ejecución de las obras se mantendrá en un nivel compatible con el cumplimiento de los requisitos esenciales (E. Community, 1989).
- d) APROY-NMX-C-530-ONNCCCE (2017): Es el tiempo durante el cual el desempeño de un material, elemento o estructura de concreto. Las características del proyecto en términos de seguridad. de fuego, seguridad en uso), funcionalidad (higiene, salud y medio ambiente, protección contra el ruido y ahorro energético y confort térmico) y estética (deformaciones, agrietamientos, desprendimientos), con un mínimo de mantenimiento que le permita soportar los efectos ambientales y naturales en su entorno durante su uso.

Aunque aparentemente similares, estos conceptos de vida de servicio tienen diferencias y no consideran una división en etapas de tiempo durante el cual ocurren algunos fenómenos específicos y particulares. Estos fenómenos particulares como el agrietamiento, la carbonatación, el movimiento del cloruro, etc., pueden tener diferentes efectos de acuerdo con etapas de tiempo determinadas, como el inicio o el final de la vida útil. Entonces, el modelado y la predicción del comportamiento deben corresponder a etapas de tiempo específicas a menos que sepamos exactamente cómo podría ser su comportamiento específico en cualquier etapa temporal.

Esta puede ser la razón por la cual la extrapolación de predicciones de modelos determinísticos, semiprobabilísticos o probabilísticos a diferentes etapas de tiempo no se puede verificar de manera precisa y completa. En otras palabras, la vida útil del concreto debe dividirse en diferentes etapas de tiempo donde el material está expuesto a diferentes circunstancias además del envejecimiento. Cada etapa de tiempo se define como el tiempo específico donde los materiales específicos y los efectos ambientales pueden ser conocidos, sin circunstancias que puedan ser atribuidas a otras etapas de tiempo y luego a la afectación de las predicciones de los modelos cuantitativos.

Por otro lado, todavía tenemos que entender el concepto de vida de servicio como un concepto de "vida entera" y como la forma en que vemos nuestra propia existencia como seres humanos. De hecho, utilizamos algunos conceptos en ingeniería como "patología" que se adoptan de las ciencias médicas para referirse a problemas de "salud" de la estructura. El objetivo de este documento es discutir un enfoque que considera el carácter holístico de la vida útil concreta, pero lo divide en siete etapas de tiempo que se pueden comparar, para fines de comprensión, con las de un ser humano. El documento analiza la superposición de las diferentes etapas de tiempo, así como las razones por las que los modelos de predicción pueden fallar.

2. ALGUNOS ASPECTOS ACERCA DE LA EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS DE VIDA ÚTIL

Probablemente uno de los enfoques más importantes para la vida útil ha sido el proporcionado por el modelo de Tuutti en 1982 (Tuutti, 1982). Este modelo fue el primero en proponer dos etapas para la vida útil: iniciación y propagación. Gran parte del conocimiento actual para prevenir daños y reparar estructuras se basa en este modelo conceptual. Nuevos materiales, la agresividad del medio ambiente y las nuevas técnicas de construcción han hecho necesarias mejoras en el modelo de Tuutti.

La inclusión de la cantidad total de daños, así como las etapas específicas, como las opciones de inspección, diagnóstico, pronóstico, reparación y mantenimiento, fueron introducidas en 1994 por Andrade (Andrade, 1994).

En 1996 (Sarja y Vesikari, 1996), se propusieron varios niveles de modelos para incluir elementos tales como materiales o edificios completos. La ayuda de modelos deterministas para predecir la vida de servicio programada se discutió junto con la importancia de los estocásticos. En 1996, se tomaron en cuenta dos estados límite de despasivación y agrietamiento del hormigón en los modelos conceptuales. También se presentó un modelo conceptual que muestra las distribuciones

de la degradación, la vida útil y los límites de capacidad de servicio en ese año (Sarja y Vesikari, 1996). La obsolescencia de las estructuras se tuvo en cuenta en los modelos conceptuales durante 1997 (Somerville, 1997) y se introdujo la idea de diseñar para la vida final.

La necesidad de incluir nuevos conceptos en los enfoques de la vida útil continuó en 1998 (Helene, 2003) cuando el concepto de vida útil se dividió en varias partes. Helene (2003) presentó la etapa de vida útil dividida en cuatro partes específicas y superpuestas. Todos estos enfoques han ayudado a mejorar las predicciones de la vida útil a través de modelos determinísticos o probabilísticos. Sin embargo, la superposición de sus diferentes etapas ha complicado la precisión de las predicciones debido a que muchos fenómenos químicos, físicos o electroquímicos pueden tener un comportamiento totalmente diferente en las diferentes etapas de la vida útil. Por lo tanto, se necesita un enfoque con etapas definidas y no superpuestas que podrían permitir mejores predicciones de vida útil en cualquiera de sus etapas. En otras palabras, no debemos hacer predicciones de la vida útil si no conocemos el comportamiento esperado de todos los fenómenos durante toda la vida útil, que es prácticamente imposible.

En este sentido, la literatura ha proporcionado varios otros modelos con conceptos interesantes y subdivisiones de la vida útil en varias etapas. Sin embargo, a pesar de estas importantes contribuciones, se ha encontrado poca información sobre la filosofía con la que debemos analizar la vida útil de una estructura. Dado que el término "patología" se ha adaptado de las ciencias médicas al campo de la construcción, es consistente hablar sobre "problemas de patología de la construcción". Esto nos es familiar debido a las analogías existentes entre las ciencias médicas y las de la construcción; esto es entre un ser humano y las estructuras. Por lo tanto, el siguiente enfoque considera las similitudes de la vida total entre un ser humano y una estructura.

Los criterios más conocidos consideran la vida útil de una estructura dividida en vida útil y vida residual. En los últimos años y en coincidencia con la aparición de problemas de durabilidad, la vida útil total se dividió en más partes como vida de servicio, vida útil, vida residual y otras que se aplican también para un ser humano, con algunas excepciones obvias.

3. ANALOGÍAS ENTRE LA VIDA ÚTIL DE UN SER HUMANO Y UNA ESTRUCTURA

Consideremos las siguientes similitudes de las etapas de la vida de servicio entre un ser humano y una estructura.

La primera etapa es la de la concepción. La concepción de un ser humano está dada por la relación entre la pareja. En el caso de un proyecto, la concepción viene dada por las primeras discusiones sobre el proyecto y su preparación. Según el tipo de proyecto, la estructura puede durar muchos años. Esta es la etapa donde se proyecta la vida total. Esta etapa se puede llamar planificación del proyecto de la vida total de la estructura (etapa 1) e incluye el diseño estructural, arquitectónico y de durabilidad (figura 1). El producto de esta etapa o condición de frontera es el proyecto ejecutivo. La segunda etapa es la de la gestación. Este es el momento en que la madre gesta al recién nacido. Algunos profesionales como el ginecólogo supervisan esta etapa. La analogía con esta etapa viene dada por el período de construcción de la estructura. Seguir las especificaciones del proyecto con una supervisión adecuada determinará el período de vida total de la estructura. Esta etapa se puede llamar la preparación para la vida útil (etapa 2). El producto de esta etapa, o condición de frontera, es la nueva estructura final.

La tercera etapa es la de la entrega. Un grupo de profesionales como el ginecólogo, el pediatra y el anesthesiólogo se encargan de recibir a los recién nacidos y asegurar buenas condiciones durante este período. En términos de una estructura, este es el día en que la estructura se pone en servicio, el día de servicio. Este es el momento en que comienza la vida útil y constituye un punto específico de tiempo que es la condición límite. Esta etapa se puede llamar el inicio de la vida útil (etapa 3).

La cuarta etapa es la del parto hasta la edad adulta (por ejemplo, 18 años). Esta es una etapa crítica donde la supervisión de los padres es importante para prevenir, detectar y corregir cualquier tipo de problema relacionado con la salud mental, emocional o física, o accidentes que afectarían el desarrollo a largo plazo de la persona. La analogía con esta etapa es aquella en la que la nueva estructura puede recibir o no mantenimiento preventivo para evitar daños futuros. La duración de esta etapa dependerá de las necesidades evidentes de mantenimiento correctivo de la estructura. Una condición límite para esta etapa cuatro se puede indicar como el momento en que los agentes agresivos alcanzan la barra de refuerzo.

En términos de durabilidad, esta puede ser la llamada etapa de iniciación a la corrosión, o la llamada vida de servicio (etapa 4). Será el período comprendido entre el día de servicio y hasta el día en que la agresividad del medio ambiente y / o las cargas provoquen un deterioro directo del acero / hormigón. Esta etapa debe considerar solo el comportamiento esperado cuando la estructura es saludable y no muestra un deterioro evidente. La condición límite aquí es justo antes de que la presencia de evidencias visuales de deterioro pueda ser la señal de que la predicción del modelo de comportamiento debe ser modificada o cambiada para incluir diferentes condiciones.

La quinta etapa incluye la edad adulta hasta justo antes de la edad de la tercera edad. Este es un período de madurez donde el desarrollo correcto depende de la persona y los hábitos correctos durante las etapas previas. Ciertos aspectos sobre la salud o los problemas emocionales determinan el comportamiento o la condición límite al final de esta etapa. En términos de durabilidad, esta etapa corresponde al período de propagación. Sin embargo, como se definió realmente, el período de propagación finaliza cuando la capacidad original de la estructura para soportar cargas estructurales y ambientales no se puede restaurar a la estructura. En realidad, esta capacidad tiene una alta probabilidad de ser restaurada si la estructura es reparada / rehabilitada adecuadamente en un momento crítico. Esto es como el cáncer que se puede curar mediante un diagnóstico correcto ya tiempo.

Esta etapa se puede llamar vida de servicio residual (etapa 5). Es una etapa en la cual la estructura será útil a pesar de sus problemas, pero solo si recibe un tratamiento correcto y dentro del tiempo. El límite o condición límite entre esta etapa y la siguiente está dada por el hecho de que no todos los "medicamentos", o intervención, tendrán el efecto deseado.

La sexta etapa puede ser desde la tercera edad hasta el instante antes de morir. En esta etapa, se deben seguir cuidadosamente todas las funciones de la persona porque pueden fallar debido al envejecimiento y las condiciones o efectos previos de la vida. En el caso de una estructura, es el momento en que cualquier acción preventiva o correctiva no puede restablecer las condiciones esperadas de funcionalidad, capacidad de servicio, durabilidad, capacidad de carga, etc. Es este período en el que el inspector y el propietario deben pensar en un cambio de usar para la condición de frontera de la estructura. Algunas actividades como la descarga de algunas zonas, la evacuación de personas, el desmontaje de algunas instalaciones, etc., deben planificarse antes de la "muerte" de la estructura. Esta etapa termina justo antes de la muerte de la estructura y puede llamarse simplemente vida residual (etapa 6). La condición límite aquí corresponde al momento en que la estructura ya no es útil.

La séptima y última etapa es la de la muerte como resultado de fallas, colapsos o "dolor" prolongado. En el caso de una estructura, esta etapa corresponde al comienzo del colapso parcial o total. Esta etapa se puede llamar el final de la vida residual (etapa 7).

Cada etapa del modelo conceptual debe ir acompañada de algunas pruebas específicas. Los resultados de un tipo de prueba podrían significar una interpretación diferente si se aplica en diferentes etapas. Como ejemplo, podríamos pensar en la prueba de permeabilidad (Basheer, 1993). Los valores de permeabilidad podrían ser diferentes en dependencia de las condiciones agresivas para la estructura durante ciertas etapas: la aplicación de esta prueba en la etapa 3 puede indicar un buen concreto, pero uno mejor en la etapa 4 (debido a un período de curado más largo, etc.). NMX-C-530 toma esto en consideración.

4. EL NUEVO ENFOQUE PARA LA VIDA ÚTIL DEL CONCRETO

La figura 1 muestra un enfoque de la vida útil de las estructuras de hormigón que se basa en las mejores características de otros enfoques, así como en las analogías descritas entre una estructura y un ser humano, dada anteriormente. Este enfoque se presenta con una filosofía similar pero con una división de etapas de tiempo que está más de acuerdo con la planificación del proyecto y con las predicciones futuras.

El rendimiento óptimo se obtiene durante las primeras tres etapas e incluye la planificación, la preparación y el día de servicio en servicio. La condición mínima de servicio se mantendrá solo durante la cuarta etapa donde se requiere mantenimiento preventivo contra la entrada de sustancias agresivas. En términos globales, las etapas cinco, seis y siete son aquellas en las que la estructura ya no es capaz de exhibir un rendimiento aceptable. Estas etapas incluyen la vida útil residual, la vida residual y el final de la vida residual.

5. SUPERPOSICIÓN ENTRE LAS DIFERENTES ETAPAS

Cualquiera de las etapas de la Figura 1, pero particularmente las últimas cuatro, deben analizarse individualmente al realizar las predicciones de la vida útil. La literatura ha dado mucha importancia a las etapas 4 y 5 porque se cree que la información obtenida en tales etapas es suficiente para predecir el comportamiento futuro. Los eventos de cada etapa temporal individual deben interpretarse y considerarse para cualquier predicción debido a la influencia de los fenómenos que ocurren durante etapas de tiempo previas. La superposición de fenómenos que ocurren en diferentes etapas puede dar lugar a predicciones engañosas.

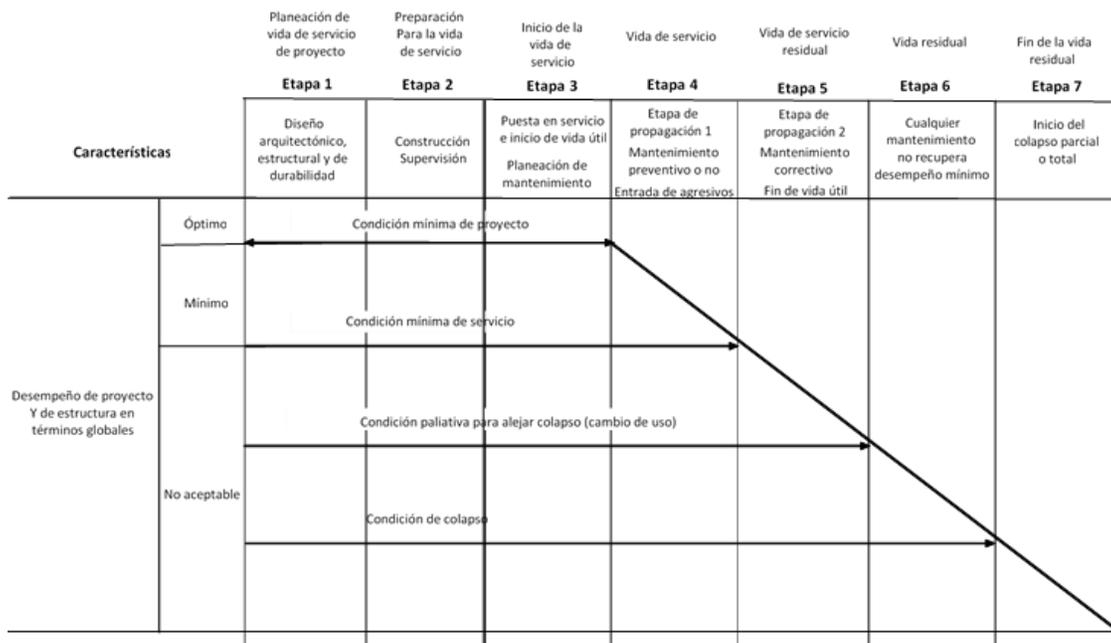


Figura 1. Enfoque de la vida útil de las estructuras de hormigón

Un ejemplo simple es la predicción del frente de carbonatación o el perfil de cloruro adyacente a la barra de refuerzo después de unos pocos años de exposición a un entorno determinado. La etapa 4, vida útil, incluye la entrada de estos agentes, pero las predicciones generalmente no tienen en cuenta las etapas 5, 6 y 7 en las que pueden producirse grietas u otros fenómenos.

Esta es una de las razones principales por las que no podemos encontrar fácilmente una verificación de predicción válida de estos fenómenos. Lo mejor en este caso es circunscribir un modelo de predicción a la etapa 5 y pensar en las modificaciones o una diferente después de la etapa 5. Los elementos incluidos en las siete etapas, así como los datos necesarios para las predicciones se publicarán en otro lugar.

6. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL DE SIETE ETAPAS

El muelle Progreso es la estructura de concreto reportada más antigua con el uso de 304 SS. Fue diseñado y construido por la compañía danesa Christiani y Nielsen. Esta empresa pensó en una estructura de vida útil de 50 años con un mínimo de mantenimiento. Seis de las etapas del modelo conceptual se pueden identificar fácilmente. Varios artículos publicados, citados aquí, pueden apoyar el uso del modelo conceptual:

Etapa 1.- Planificación de la vida útil (2 años). El muelle fue diseñado para estar en servicio durante 50 años. La preparación del proyecto duró aproximadamente dos años.

Etapa 2.- Preparación de la vida útil (período de construcción, 5 años). La estructura fue construida entre 1936 y 1941.

Etapa 3.- Inicio de la vida útil. La estructura fue inaugurada en 1941

Etapa 4.- Vida útil (60 años). La estructura tuvo un servicio satisfactorio desde 1941 hasta 2001, después de 60 años de servicio, cuando un huracán (Isidore, 2002) evidenció diversos problemas como la erosión que afectaba a las pilas, vigas y cubiertas.

Etapa 5.- Vida útil residual (15 años). La estructura, desde entonces (2002), ha estado en servicio gracias a las intervenciones a tiempo. Se propuso un nuevo muelle para el ministerio de construcción, que finalmente se construyó e inauguró en 2016. Este fue el final de la etapa 5 para el antiguo muelle, ya que la mayoría de las cargas fuertes se trasladaron al nuevo muelle.

Etapa 6.- Vida residual (2 años y contando). El mantenimiento no recupera el rendimiento original y no puede ayudar al muelle a soportar las 10 veces mayores cargas. Luego, se modificó el uso del muelle para permitir solo una parte de las cargas planificadas originales que son equivalentes, hoy en día, a automóviles y camiones turísticos, personas y tráfico de mantenimiento. De hecho, está teniendo una intervención, para asegurarse de que puede sostener un cierto porcentaje de las cargas originales de diseño. Bajo estas circunstancias, se espera una duración de etapa 6 de al menos 22 años, que es el complemento para tener el doble de la vida útil inicial esperada, esto significa un total de 100 años.

7. CONCLUSIÓN

Se discutió la contribución de varios enfoques para la vida útil de las estructuras de hormigón. Se propuso un nuevo enfoque que toma en cuenta las similitudes entre las diversas etapas de la vida de servicio de un ser humano y estructuras concretas. La influencia de la superposición de etapas de la vida del servicio en las predicciones del comportamiento futuro se discutió brevemente. Con base en el nuevo enfoque, se recomienda el uso de modelos de predicción simples cuyos resultados se aplican a etapas individuales.

8. AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a sus Institutos, así como a CONACYT y CNPq por su apoyo parcial para este documento y colaboración. La ayuda de M. Balcan con la obra de arte es reconocida. Las

opiniones expresadas aquí son las de los autores y no necesariamente de las organizaciones de apoyo.

9. REFERENCIAS

- American Concrete Institute (2000), “*ACI-365: Service-Life Prediction- State-of-the-Art Report*”.
- Andrade, C. (1994), *Quantification of durability of reinforcing steel, methods and calculation procedures of Concrete technology: New Trends, Industrial Applications*, A. Aguado, R. Gettu and S.P. Shah, Editors. RILEM. Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK ISBN 0 419 20150 5. pp: 158-175.
- APROY-NMX-C-530-ONNCCE (2017), “*Industria de la construcción – Durabilidad – Norma general de durabilidad de estructuras de concreto reforzado – Criterios y Especificaciones*”.
- Basheer, P. A. M. (1993), *A brief review of methods for measuring the permeation properties of concrete in-situ*, Structures and Buildings, Proceedings of the ICE, vol 99, 74-83. <https://doi.org/10.1680/istbu.1993.22515>
- European Community (1989), “*COUNCIL DIRECTIVE of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products.*”, Off. J. Eur. Communities, vol. 40, no. L, pp. 12–26.
- Helene, P. (2003), *A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto*, University of Sao Paulo PCC USP.
- Sarja, A., Vesikaeri, E. (1996), *Chapter 7 Durability models*, In Durability Design of Concrete Structures. Manuscript of RILEM Report of TC 130-CSL, RILEM Report Series 14. pp: 97-111, E & FN Spon, Chapman and Hall, 165 p.
- Somerville, G. (1997), “*Engineering design and service life: a framework for the future*”, In Prediction of concrete durability: Proceedings of the STATS 21st anniversary conference /1997, J. Glanville and A. M. Neville, Editors, pp. 58-76, E & FN Spon, UK.
- Troconis, O., Romero, A., Andrade, C., Helene, P., Díaz, I. (1998), *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*, 2nd ed. Red Durar.
- Tuutti, K. (1982), “*Corrosion of steel in concrete*”, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.