

Evaluación aproximada de la vida útil de vigas de concreto en ambientes costeros diseñadas conforme a la norma de concreto de la Ciudad de México

Approximate evaluation of the service life of concrete beams in coastal environments designed to Mexico City concrete standard

Barradas-Hernández, J.E.^{1*} , Vargas-Colorado, A.¹ , Márquez-Domínguez, S.¹ , Carpio-Santamaría, F.A.¹ ,
Piña-Flores, J.¹  (*erbarradas@uv.mx)

Recibido: 22-08-2024 Aceptado: 15-10-2024

RESUMEN

El reglamento de construcciones públicas y privadas del municipio libre de Veracruz establece que, se debe utilizar la Norma Técnica Complementaria para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México vigente (NTC-Concreto, 2023) para realizar el diseño por durabilidad de los miembros de concreto reforzado (MCRs). Este diseño debe asegurar que los MCRs cumplan con un tiempo de vida útil de proyecto (*TD*) de 50 años. Dicha norma especifica un conjunto de requisitos prescriptivos y asume que los miembros alcanzarán el *TD*, aunque no proporciona un modelo de durabilidad para su verificación numérica. El objetivo de este documento es presentar la aplicación de un modelo de durabilidad para MCRs, según lo estipulado en la norma española de hormigón armado de 2008,

la cual ha sido modificada mediante la inclusión de un coeficiente de difusión de cloruros que toma en cuenta el ancho de las grietas por flexión. Esto permitirá verificar numéricamente, de manera aproximada, el *TD* de una viga hipotética de concreto reforzado situada en un entorno exterior a 800 m de la costa del municipio de Veracruz, diseñada conforme a los lineamientos de las NTC-Concreto, 2023. Los resultados indican que la viga diseñada no cumple con el *TD*, lo cual no habría sido posible determinar sin la aplicación de este modelo de durabilidad modificado.

Palabras clave: Diseño por durabilidad, corrosión en ambientes costeros, agrietamiento en vigas de concreto.

¹Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, Av. Juan Pablo II S/N, Costa Verde, Boca del Río, Veracruz, México, CP 94292.



ABSTRACT

The public and private construction regulations of the municipality of Veracruz establish that the Complementary Technical Standard for the Design and Construction of Concrete Structures of the Construction Regulations of Mexico City (NTC-Concrete, 2023) must be used for the durability design of reinforced concrete members (RCMs). This design must ensure that RCMs comply with a design life (TD) of 50 years. The standard in question specifies a set of prescriptive requirements and assumes that the members will achieve the TD , although it does not provide a durability model for numerical verification. The objective of this paper is to present the application of a durability model for RCMs, as stipulated in the 2008 Spanish re-

inforced concrete standard, which has been modified by including a chloride diffusion coefficient that considers the width of flexural cracks. This will allow to verify numerically, in an approximate manner, the TD of a hypothetical reinforced concrete beam located in an outdoor environment 800 m from the coast of the municipality of Veracruz, designed according to the guidelines of the NTC-Concrete, 2023. The results indicate that the designed beam does not comply with the TD , which would not have been possible to determine without the application of this modified durability model.

Keywords: Design for durability, corrosion in coastal environments, cracking in concrete beams.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las normas internacionales de diseño de estructuras de concreto, incluidas las mexicanas [1-6], requieren que las estructuras soporten durante su tiempo de vida útil de proyecto (T_D), el uso y el deterioro esperados por el ataque de los agentes agresivos del medioambiente sin mantenimiento excesivo. A este criterio se le suele llamar Estado Límite de Durabilidad (ELD). Para realizar el diseño integral (resistencia, rigidez y durabilidad) de miembros de concreto reforzado (MCRs), el reglamento de construcciones públicas y privadas del municipio libre de Veracruz [7] indica emplear las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto que formen parte del Reglamento de Construcciones vigente de la Ciudad de México (NTC-Concreto, 2023), que en la fecha de elaboración de este documento es el publicado en 2023 [4]. Para efectuar el diseño por durabilidad, las NTC-Concreto, 2023, al igual que otras normas nacionales e internacionales [1-3], especifican un conjunto de requisitos prescriptivos con cuyo cumplimiento se da por hecho que los miembros alcanzarán el T_D recomendado, pero no especifican un modelo de durabilidad para evaluarlo numéricamente.

En este documento se considera que la norma española de hormigón armado en sus versiones de 2008 (EHE-08) [5] y de 2021 (CE-21) [6], son más adecuadas para efectuar el diseño por durabilidad de MCRs en ambientes costeros como el del municipio de Veracruz. Esto se debe a que, a diferencia del resto de las normas de concreto [1-4], la EHE-08 y el CE-21 especifican un modelo de durabilidad que tiene la notable característica de que permite considerar como variables a varios de los principales parámetros del concreto y de los miembros que intervienen en los tiempos de iniciación (T_I) y propagación (T_P) de la corrosión del acero de refuerzo por cloruros. Estos parámetros son: tipo de cemento, relación agua-cemento, contenido mínimo de cemento, contenido de cloruros en el concreto y en la superficie de los miembros, recubrimiento y diámetro del refuerzo y velocidad de corrosión del refuerzo. Dicha característica del modelo permite hacer más eficiente el proceso de diseño, ya que es posible, por un lado,

considerar para los parámetros que dependen de las condiciones locales del sitio en el que se encuentra el miembro, valores acordes a dichas condiciones. Por otro lado, es posible efectuar iteraciones con los valores de los parámetros que no dependen de tales condiciones y sobre las que tiene control el ingeniero estructural, hasta lograr el cumplimiento del T_D . También, este modelo de durabilidad se puede utilizar para evaluar numéricamente el T_D de un miembro existente o recién diseñado.

Sin embargo, los modelos de la EHE-08 [5] y del CE-21 [6] tienen la limitante de emplear un coeficiente de difusión de cloruros que no considera el agrietamiento en MCRs inducido por cargas mecánicas [8], fenómeno casi inevitable, incluso ante cargas mecánicas gravitacionales sostenidas de servicio. Torres et al [8] modificaron el modelo de la EHE-08 sustituyendo el coeficiente de difusión de cloruros considerado en dicho modelo, por otro coeficiente propuesto por dichos autores, que considera el ancho de las grietas en MCRs ante cargas mecánicas sostenidas. El objetivo de este documento es mostrar la aplicación de este modelo de durabilidad modificado para verificar numéricamente y de forma aproximada el T_D de una viga hipotética de concreto reforzado en la que actúan cargas gravitacionales sostenidas de servicio que le inducen momentos flectores uniaxiales, ubicada a 800 m de la costa del municipio de Veracruz, y diseñada con los lineamientos de las NTC-Concreto, 2023 [4]. Se muestra que la viga no cumple con el T_D de proyecto, lo cual no hubiese sido posible establecer sin la aplicación de este modelo de durabilidad modificado. Además, se recomienda el empleo de este modelo para el diseño por durabilidad de MCRs, ya que como se mencionó, tiene la notable característica de permitir efectuar iteraciones con los valores de algunos de los parámetros de los que son función TI y TP, que no dependen de las condiciones locales del sitio, hasta lograr el cumplimiento del T_D .

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del procedimiento de diseño por durabilidad y resistencia de acuerdo con las NTC-Concreto, 2023, para el caso particular de MCRs exteriores en ambientes costeros sujetos a cargas gravitacionales sostenidas de servicio.

En la sección 1.4.3.1. de las NTC-Concreto, 2023 se establece que las estructuras deberán diseñarse para una vida útil de al menos 50 años. A continuación, se describen los pasos para aplicar este procedimiento.

Paso 1. Clasificación de exposición del medio ambiente en el que se encuentra el miembro a diseñar, de acuerdo con la tabla 4.3.1 de la norma.

Paso 2. Requisitos para concretos en función de la clasificación de exposición, de acuerdo con las secciones 4.4, 4.5 o 4.6 de la norma: Cemento portland ordinario, resistencia a compresión mínima especificada (f'_c), máxima relación agua/cemento y contenido de cemento mínimo.

Paso 3. Valores máximos del contenido de ion cloruro en el concreto fresco de acuerdo con la tabla 4.9.1.2. de la norma.

Paso 4. Recubrimiento mínimo para protección contra corrosión, en función de la clasificación de exposición y de la f'_c , de acuerdo con las tablas 4.13.3.1. y 4.14.16.a de la norma.

Paso 5. Diseño por resistencia de la sección transversal de la viga, tomando en cuenta los requisitos aplicables de la sección 3 de las NTC-Concreto, 2023 y la distribución del refuerzo a flexión en elementos que trabajan en una dirección (en este caso la viga sujeta a flexión uniaxial) de la sección 13.6. de las NTC-Concreto, 2023.

Paso 6. Revisión del agrietamiento en elementos que trabajan en una dirección (en este caso la viga sujeta a flexión uniaxial): El valor obtenido de la Ec. (1), que define al parámetro GL , no debe exceder el correspondiente valor indicado en la tabla 13.5.1 de la norma, de acuerdo con la agresividad del medio a que se encuentre expuesto el miembro. Estos valores al multiplicarse por 10^{-5} definen el ancho de grieta permisible en mm.

$$GL = f_s \sqrt[3]{d_c A} \frac{h_2}{h_1} \quad (1)$$

en la Ec. (1): f_s es el esfuerzo en el acero longitudinal en condiciones de servicio, d_c es el recubrimiento de concreto medido desde la fibra extrema en tensión al centro de la barra de refuerzo longitudinal más próxima a ella; A es el área de concreto a tensión que rodea al refuerzo principal de tensión y cuyo centroide coincide con el de dicho refuerzo, dividida entre el número de barras; h_1 es la distancia entre el eje neutro y el centroide del refuerzo principal de tensión; y h_2 es la distancia entre el eje neutro y la fibra más esforzada en tensión. En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo de este procedimiento.

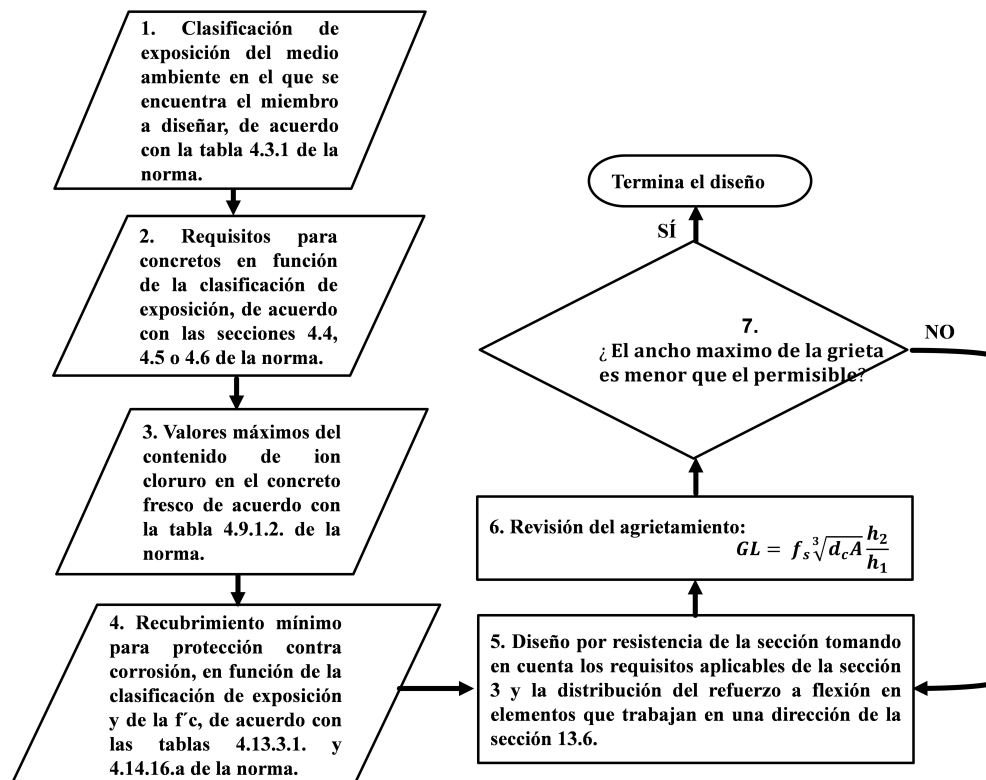


Figura 1: Diagrama de flujo de la metodología de las NTC-Concreto, 2023.

Descripción del modelo de durabilidad de acuerdo con el cuerpo principal y el anejo 9 de la EHE-08 [5].

Dicho modelo se describe como: $T_L = T_I + T_P$, donde T_L es el tiempo de vida útil esperado del miembro, T_I es el tiempo que tarda el agresivo en alcanzar el refuerzo, provocando el inicio de la corrosión y T_P

es el tiempo que tarda el agresivo en producir una degradación significativa del elemento estructural. La comprobación del ELD consiste en verificar el cumplimiento de la desigualdad: $T_L \geq T_D$. A continuación, se describen los pasos para aplicar este modelo.

Paso 1. Estimar el T_I por medio de la Ec. (2).

$$T_I = \left(\frac{d}{K_{cl}} \right)^2 \quad (2)$$

donde K_{cl} es el coeficiente de penetración de cloruros que se calcula mediante la Ec. (3) y está en función de un factor de conversión de unidades (α), del coeficiente de difusión de cloruros ($D_{(t)}$), de la concentración crítica de cloruros (C_{th}), de la concentración de cloruros en la superficie del concreto (C_s) y del contenido de cloruros aportado por las materias primas en el momento de la fabricación del concreto (C_b). Las unidades de estos tres últimos parámetros deben ser kg/m^3 .

$$K_{cl} = \alpha \sqrt{12D_{(t)}} \left[1 - \sqrt{\frac{C_{th} - C_b}{C_s - C_b}} \right] \quad (3)$$

En la sección 1.2.2.2 del anejo 9 de la EHE-08 [5], se recomiendan valores para estos parámetros, como porcentajes del peso del cemento, cuando no es posible obtenerlos por medio de pruebas de laboratorio para las condiciones particulares de la obra.

Paso 2. Estimar el T_P por medio de la Ec. (4).

$$T_P = \frac{80d}{\varphi V_{corr}} \quad (4)$$

donde φ es el diámetro del refuerzo en mm y V_{corr} es la velocidad de corrosión en micras/año. A falta de datos experimentales obtenidos en la obra para este parámetro, la EHE-08 [5] proporciona valores aproximados en la tabla A.9.5.

Paso 3. Estimar el T_L y comprobar el ELD, que consiste en verificar el cumplimiento de la desigualdad: $T_L \geq T_D$. En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo para la aplicación de este modelo de durabilidad, con propósitos de evaluación.

Coeficiente de difusión de cloruros que considera el ancho máximo de las grietas en MCRs, propuesto por Torres et al. [8].

Este coeficiente se define por medio de la Ec. (5), donde w es el ancho de grieta en mm. Torres et al. [8] mostraron que el considerar el ancho de la grieta reduce significativamente (hasta en 90 %) el T_I . Como se comentó anteriormente, la modificación realizada por Torres et al. [8] al modelo de la EHE-08 consiste en sustituir el coeficiente de difusión de cloruros $D_{(t)}$ de la Ec. (3) por el propuesto por estos autores definido en la Ec. (5).

$$D_{(w)} = 8,25 \times 10^{-8} e^{13,1w} \quad (5)$$

En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo para la aplicación del modelo de durabilidad de la EHE-08 con propósitos de evaluación, modificado por Torres et al. [8].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

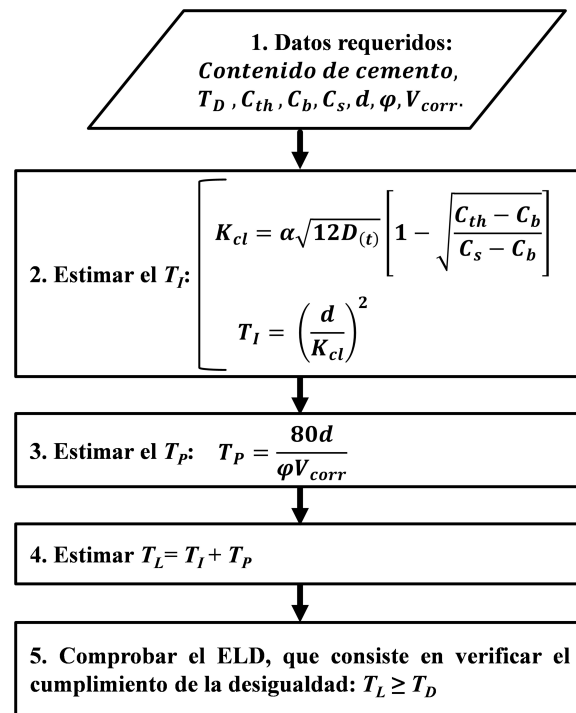


Figura 2: Diagrama de flujo de la metodología de la EHE-08, para propósitos de evaluación.

Aplicación del procedimiento de diseño por durabilidad y resistencia y revisión del agrietamiento, de acuerdo con las NTC-Concreto, 2023 [4].

Realizar el diseño por resistencia ante cargas gravitacionales máximas y por durabilidad, así como la revisión del agrietamiento ante cargas gravitacionales de servicio, de la sección transversal crítica a momento negativo mostrada en la Figura 4, de una viga de concreto reforzado que forma parte del sistema de piso de la planta baja que funge como estacionamiento abierto de un edificio de oficinas hipotético ubicado a 800 m de la costa del municipio de Veracruz. Las coordenadas geográficas de la ubicación del edificio son 19° 9'36.15"N, 96° 6'42.04.º.

Se considera que los momentos flectores negativos, último y de servicio, que actúan en la sección transversal crítica son, de 92.17 kN×m y 54.73 kN×m respectivamente. Estos momentos se obtuvieron mediante el siguiente procedimiento. Primero se consideraron los siguientes datos de entrada: Longitud de la viga: L=6.0 m, área tributaria: 17.5 m², peso volumétrico del concreto reforzado: 23.54 kN/m³, sobrecarga muerta normativa: 0.39 kN/m², peso propio de una capa de mortero: 0.41 kN/m², peso propio de una capa de adhesivo cerámico: 0.20 kN/m², peso propio de loseta cerámica: 0.11 kN/m², carga viva normativa máxima en oficinas: 2.45 kN/m², carga viva normativa media en oficinas: 0.98 kN/m², factores normativos de carga muerta y de carga viva para la combinación de cargas gravitacionales máximas: 1.3 y 1.5 (adimensionales), factor normativo de carga muerta y de carga media para la combinación de cargas gravitacionales de servicio: 1.0 (adimensional). A partir de estos datos se calcularon los siguientes: carga última total en la viga, Wu=30.73 kN/m, carga de servicio total en la viga, Ws=18.24 kN/m. Los valores de los momentos flectores negativos último (Mu) y de servicio (Ms) se calcularon mediante la fórmula

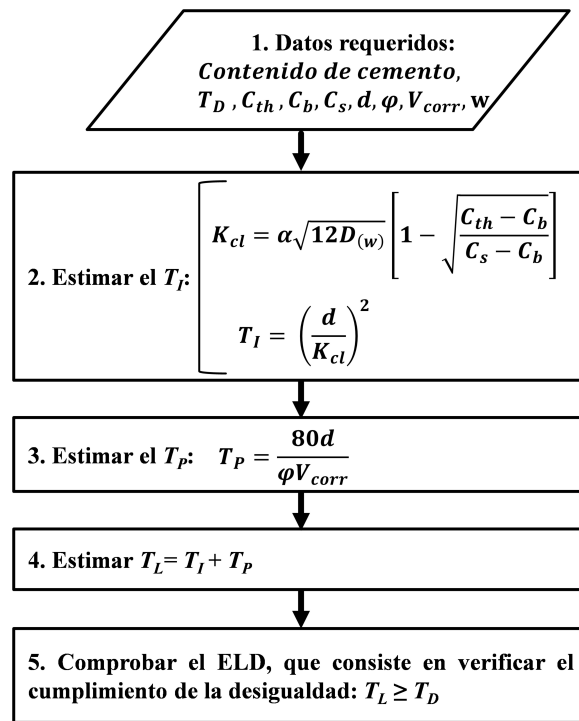


Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología propuesta por Torres et al.[8], para propósitos de evaluación.

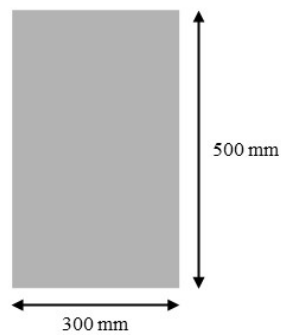


Figura 4: Sección transversal de la viga a diseñar.

aproximada: $M_u = W_u \times L^2 / 12$ y $M_s = W_s \times L^2 / 12$.

Se considera además que en el sitio donde se ubica la viga hipotética actúa una velocidad de corrosión $V_{\text{corr}} = 20 \mu\text{m/año}$. Esta velocidad se midió en campo por los autores del presente documento, en el mismo sitio donde se ubica la viga considerada. A continuación, se detallan los pasos para aplicar este procedimiento.

Paso 1. De acuerdo con la Tabla 4.3.1., a la viga le corresponde una clasificación de exposición del medioambiente B1. De acuerdo con las NTC-Concreto, 2023, la descripción de esta clasificación es la siguiente: “*ambientes moderadamente agresivos, tales como los sitios con ambientes similares a los que existen en las zonas cercanas a las costas y prevalecen los vientos provenientes de la zona agresiva, para los cuales una protección satisfactoria puede ser proporcionada por una combinación de una calidad mejorada del concreto y recubrimiento adecuado. También aplica para estructuras que estén expuestas a periodos de humedecimiento y secado, por lo cual se debe requerir baja permeabilidad en el concreto.*”

Paso 2. De acuerdo con la sección 4.5 de las NTC-Concreto, 2023, a una clasificación B1 le corresponde una $f'_c = 25 \text{ MPa}$, una relación agua-cemento máxima de 0.5 y un contenido de cemento mínimo de 270 kg/m^3 . Sin embargo, al realizar el diseño de la mezcla de acuerdo con el método del ACI 211.1-91 [9], para cumplir con la relación agua-cemento máxima de 0.5 se debe tener un contenido de cemento de 410 kg/m^3 , por lo que se debe utilizar este último.

Paso 3. De acuerdo con la tabla 4.9.1.2., el valor máximo del contenido de ion cloruro en el concreto fresco para concreto reforzado expuesto a cloruros en condiciones de servicio húmedas es de 0.15.

Paso 4. De acuerdo con las tablas 4.13.3.1. y 4.14.16.a, el recubrimiento libre mínimo para una clasificación B1, una $f'_c = 25 \text{ MPa}$ y para refuerzo principal es de 40 mm.

Paso 5. Con el conjunto de datos definidos anteriormente, se realizó el diseño por resistencia de la sección transversal para el momento último, considerando un $f_y = 42 \text{ MPa}$ para el refuerzo longitudinal, un tamaño máximo del agregado de 19.05 mm, un diámetro de 12.7 mm para el refuerzo longitudinal, un diámetro de 9.5 mm para el refuerzo transversal y tomando en cuenta los requisitos aplicables de la sección 3 de las NTC-Concreto, 2023 y la distribución del refuerzo a flexión en elementos que trabajan en una dirección (en este caso la viga sujeta a flexión uniaxial), de la sección 13.6 de las NTC-Concreto, 2023. La sección transversal resultó simplemente reforzada y su armado se muestra en la Figura 5.

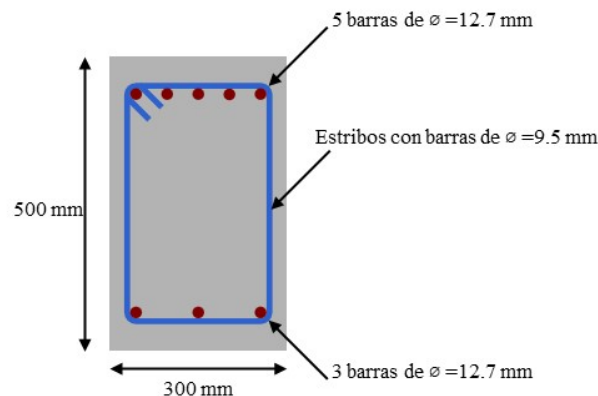


Figura 5: Armado de la sección transversal crítica a momento negativo de la viga.

Paso 6. A la sección transversal previamente diseñada, se le realizó la revisión del agrietamiento considerando el momento flector de servicio. Los valores obtenidos de los parámetros que intervienen en la Ec. (1) son: $f_s = 212.48$ MPa, $d_c = 55.85$ mm, $A = 6.7 \times 10^{-3}$ m², $h_1 = 331.71$ mm y $h_2 = 387.59$ mm, con los que se obtiene un valor del parámetro $GL = 18,243.48$ N/mm, menor que su valor permisible de 30,000 N/mm, por lo que se cumple la revisión de agrietamiento.

Evaluación aproximada del T_L de la viga diseñada por medio del modelo de durabilidad de la EHE-08 modificado.

Para obtener estimaciones realistas del T_L de un MCR de acuerdo con este modelo, es indispensable obtener los valores de los parámetros C_{th} , C_s , C_b y V_{corr} mediante mediciones en campo en el sitio en el que se ubica o ubicará el miembro. De estos parámetros, el único cuyo valor se obtuvo en campo fue el de V_{corr} . Los valores considerados de los restantes parámetros fueron los recomendados en la EHE-08 y en la NTC-Concreto, 2023 para un ambiente costero, por lo que esta evaluación solo se puede considerar aproximada. A continuación, se detallan los pasos para aplicar este modelo.

Paso 1. Para obtener el valor de K_{cl} se calcularon los siguientes datos: $(\alpha) = 56157$ adimensional, $D_{(w)} = 8.952 \times 10^{-7}$ cm²/s, con $w = 0.182$ mm, $C_{th} = 13.8$ kg/m³, $C_s = 19.35$ kg/m³, $C_b = 3.45$ kg/m³, con lo que el valor de $K_{cl} = 35.57$ mm²/año. Los valores de T_I para el refuerzo longitudinal (T_{I_long}) y el refuerzo transversal (T_{I_est}), considerando sus respectivos recubrimientos, 49.5 mm y 40 mm, son: $T_{I_long} = 1.93$ años y $T_{I_est} = 1.26$ años.

Paso 2. Los valores de T_P para el refuerzo longitudinal (T_{P_long}) y el refuerzo transversal (T_{P_est}), considerando sus respectivos recubrimientos y diámetros son: $T_{P_long} = 15.59$ años y $T_{P_est} = 16.84$ años.

Paso 3. Los valores de T_L para el refuerzo longitudinal (T_{L_long}) y el refuerzo transversal (T_{L_est}), son: $T_{P_long} = 17.52$ años y $T_{P_est} = 17.74$ años. El menor de los dos será el T_L de la viga: $T_L = 17.52$ años, valor menor que $T_D = 50$ años, por lo que no se cumple el estado límite de durabilidad.

El resultado de que no se cumpla el estado límite de durabilidad se debe principalmente a que el T_I fue muy corto para ambos tipos de refuerzo. En un diseño por durabilidad adecuado usando refuerzo sin recubrimientos, se espera que el T_I sea significativamente más largo que el T_D [10]. De la Ec. (2) se observa que es posible incrementar el T_I aumentando el recubrimiento del refuerzo, variable que puede controlar el ingeniero estructural, y disminuyendo el valor de K_{cl} . De la Ec. (5) se observa que una de las formas de lograr esto último es disminuyendo el ancho w de las grietas, lo cual se puede lograr a su vez empleando más barras de menor diámetro para el refuerzo longitudinal, aspecto que también puede controlar el ingeniero estructural. Estas estrategias solo se pueden visualizar empleando modelos de durabilidad como el presentado en este documento desde la etapa del diseño del miembro, no aplicando un conjunto de requisitos prescriptivos como indican las NTC-Concreto, 2023.

CONCLUSIONES Y LÍNEAS ABIERTAS

Este documento presentó la aplicación de un modelo de durabilidad resultado de modificar el modelo de la EHE-08, sustituyendo el coeficiente de difusión de cloruros considerado en dicho modelo, por otro coeficiente propuesto por Torres et al. [8] que considera el ancho de las grietas en MCRs ante cargas mecánicas sostenidas. Dicho modelo se aplicó para verificar numéricamente y de forma aproximada el tiempo de vida útil del proyecto (T_D) de una viga de concreto reforzado en la que actúan cargas gravitacionales sostenidas de servicio, ubicada hipotéticamente a 800 m de la costa del municipio de Veracruz, y diseñada con los lineamientos de las NTC-Concreto, 2023 [4]. Con base en los resultados

obtenidos se puede concluir lo siguiente:

La viga no cumple con el estado límite de durabilidad, lo cual no hubiese sido posible establecer sin la aplicación de un modelo de durabilidad como el presentado en este documento.

El incumplimiento del estado límite de durabilidad se debe principalmente a que el tiempo de iniciación de la corrosión (T_I) fue considerablemente más corto que el tiempo de propagación (T_D) para ambos tipos de refuerzo, lo que indica que el diseño por durabilidad no fue adecuado.

Se recomienda que, en futuras versiones de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México, se incluya algún modelo de durabilidad, particularmente el presentado en este documento; para la evaluación y el diseño por durabilidad de miembros de concreto reforzado. Estos modelos permiten verificar si el tiempo de vida útil (T_L) será mayor o igual que el T_D una vez concluido el diseño. En caso de que no se cumpla esta condición, también permiten visualizar cuales variables del modelo que puede controlar el ingeniero estructural, se deben modificar para incrementar el T_I y/o el T_P y así lograr que se cumpla el estado límite de durabilidad.

La principal contribución de este documento es mostrar la conveniencia de utilizar modelos de durabilidad para la evaluación y el diseño por durabilidad de miembros de concreto reforzado, en comparación con enfoques basados únicamente en requisitos prescriptivos.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORES Y COLABORADORES

Barradas-Hernández, J. E.: Conceptualización, Metodología, Preparación del borrador original, Supervisión. **Vargas-Colorado, A.:** Redacción, Investigación. **Márquez-Domínguez, S.:** Revisión y Edición. **Carpio-Santamaría, F. A.:** Visualización. **Piña-Flores, J.:** Software.

REFERENCIAS

- [1] *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*, ACI-318-19. American Concrete Institute, Estados Unidos de América, 2019.
- [2] *Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*, EN 1992-1-1. The European Union Per Regulation 305/2011, 2004.
- [3] *Norma General de Durabilidad de Estructuras de Concreto Reforzado - Criterios y Especificaciones*, NMX-C-530-ONNCCE-2018. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México, 2019.
- [4] *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México (NTC-Concreto, 2023)*. Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2023.
- [5] *Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)*. Ministerio de Fomento, España, 2008.
- [6] *Código Estructural 2021 (CE-2021)*. España, 2021.
- [7] *Reglamento de Construcciones Públicas y Privadas del Municipio Libre de Veracruz*. Gaceta Oficial del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 2015.

-
- [8] J. Torres, C. Andrade, and J. Sánchez. Periodo de iniciación de la corrosión por ion cloruro según la EHE-08 en elementos de hormigón fisurados. *Informes de la Construcción*, 72(557), pp. e331, marzo 2020. doi: <https://doi.org/10.3989/ic.70275>.
- [9] *Práctica Estándar para Seleccionar Proporciones para Concreto Normal, Pesado y Masivo*, ACI 211.1-91. American Concrete Institute, Estados Unidos de América, 1991.
- [10] A. A. Torres and M. Martínez. Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad. Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Sanfandila, Querétaro, México, Publicación Técnica No. 181, 2001.