



Uso práctico del factor de seguridad en la estrategia de reparación de columnas de un edificio de concreto con valor histórico

J. A. Briceño-Mena¹ , P. Castro-Borges^{1*} 

*Autor de Contacto: pcastro@cinvestav.mx

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.569>

Recepción: 09/11/2021 | Aceptación: 21/12/2021 | Publicación: 01/01/2022

RESUMEN

En este trabajo se presenta el uso práctico del factor de seguridad (FS) en la estrategia de reparación de columnas en un edificio de concreto reforzado con valor histórico (casi 70 años). Se llevó a cabo la reparación del 80% de un edificio ubicado en el centro histórico de la ciudad de Campeche, México, declarado patrimonio de la humanidad por la UNESCO. Se utilizaron estrategias para una mejor utilización de los recursos materiales, equipamiento y mano de obra en la reparación de muros, columnas, losas y trabes. Una de las estrategias fue usar el FS teórico para calcular la profundidad de reparación sin consecuencias estructurales, pero cumpliendo la finalidad de controlar la carbonatación del concreto, y manteniendo la predicción deseada de vida de servicio.

Palabras clave: reparación; concreto reforzado; durabilidad; factor de seguridad.

Citar como: Briceño-Mena, J. A., Castro-Borges, P. (2022), “Uso práctico del factor de seguridad en la estrategia de reparación de columnas de un edificio de concreto con valor histórico”, Revista ALCONPAT, 12 (1), pp. 98 – 109, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.569>

¹Departamento de Física Aplicada, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida, Mérida, Yucatán, México.

Contribución de cada autor

En este trabajo el autor J.A. Briceño-Mena contribuyó con la actividad de experimentación de campo (60%), recolección de datos (50%), escritura del trabajo (50%), discusión de resultados (50%); el autor P. Castro-Borges contribuyó con la idea original, experimentación de campo (40%), recolección de datos (50%), escritura del trabajo (50%), discusión de resultados (50%).

Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2022) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2022 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2022.

Practical use of the safety factor in the column repair strategy of a concrete building with historical value

ABSTRACT

In this paper the practical use of the safety factor (FS) in the column repair strategy of a reinforced concrete building with historical value (almost 70 years) is presented. 80% of a building located in the historic center of the city of Campeche, Mexico, declared a World Heritage Site by UNESCO, was repaired. Strategies were used for a better use of material resources, equipment, and labor in the repair of walls, columns, slabs, and beams. One of the strategies was to use the theoretical FS to calculate the repair depth without structural consequences but fulfilling the purpose of controlling the carbonation of the concrete and maintaining the desired prediction of service life.

Keywords: repair; reinforced concrete; durability; security factor.

Uso práctico do fator de segurança na estratégia de reparo de pilar em um edifício de concreto com valor histórico

RESUMO

Neste artigo discute-se o uso prático do fator de segurança (FS) na estratégia de reparo de pilares em um edifício de concreto armado com valor histórico (quase 70 anos). 80% de um prédio localizado no centro histórico da cidade de Campeche, no México, declarado Patrimônio da Humanidade pela UNESCO, foi reformado. Estratégias foram utilizadas para um melhor aproveitamento dos recursos materiais, equipamentos e mão de obra na reparação de paredes, pilares, lajes e vigas. Uma das estratégias foi utilizar o FS teórico para calcular a profundidade de reparo sem consequências estruturais, mas cumprindo o objetivo de controlar a carbonatação do concreto, e manter a previsão de vida útil desejada.

Palavras-chave: reparar; concreto reforçado; durabilidade; fator de segurança.

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

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

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

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.



Figura 2. Estado en que se encontraba la estructura antes de ser intervenida

Para poder desarrollar una reparación óptima se debe considerar realizar un análisis estructural donde se consideren los procesos constructivos a llevar a cabo durante dicha intervención ya que, durante este proceso, se pueden ir agregando o quitando cargas debido a la demolición de elementos, vibraciones, cambios en las propiedades mismas de los materiales de reparación, cambios en la resistencia, apuntalamientos, entre otros (Ministerio de Vivienda y Urbanismo – Minvu, 2018; Allen, 1991). Por lo tanto, es importante establecer los valores con los que se trabajará, como son la resistencia antigua y nueva de los elementos, factores de seguridad, por mencionar algunos. En el presente trabajo se ilustra, para el caso de las columnas, como fue utilizado el factor de seguridad (FS) para la reparación del ex cinema Selem.

1.1 El factor de seguridad como criterio de durabilidad de la reparación

En la literatura se puede encontrar información acerca de la Teoría de Seguridad (González Cueto Vila y Quevedo Sotolongo, 2007) que, en general, consiste en relacionar el nivel de seguridad (H) (1), definido como $H = 1 - pf$, donde pf es la probabilidad de falla. Este nivel de seguridad depende de todas las variables que intervienen en el diseño de la estructura y de cómo pueden variar los mismos. La ecuación general que rige la teoría de seguridad es:

$$H \geq H^n \quad (1)$$

Donde: H^n es el nivel de seguridad del diseño
 H es el nivel de seguridad de obra.

En Ingeniería Civil, se puede entender como seguridad el evitar que la estructura sobrepase el estado límite permisible, el cual es donde se considera que el comportamiento estructural es aceptable (Ridell y Hidalgo, 2010). El FS es aquel que relaciona la carga o sollicitación (C) a aplicarse en la estructura con la capacidad máxima (R) que esta puede soportar, es decir, su

resistencia máxima.

$$FS = \frac{C}{R} \quad (2)$$

El FS se considera al momento en el cual se está diseñando un elemento estructural pero también debe tomarse en cuenta cuando se realizan las reparaciones ya que éste, tiene una relación directa con la propia resistencia del material, así como en las dimensiones de la sección de los elementos. El FS se basa en dos coeficientes (ACI 318-19, 2019), un coeficiente de mayoración de cargas que consiste en incrementar de manera ficticia la carga que será aplicada a la estructura cuando se encuentre sometida a cargas reales durante su uso. Esto es, multiplicar la carga real esperada por un coeficiente de seguridad de mayoración de carga. El otro coeficiente es el de minoración de la resistencia misma del material que conforma el elemento. La resistencia de los materiales se reduce a comparación de los esfuerzos máximos admisibles. Esto es, dividir la resistencia de los materiales por un coeficiente de seguridad de minoración de resistencia. Por lo tanto, considerando un elemento que en teoría va a tener cargas mayores a las reales y con una resistencia menor a la propia, se tendrá una confianza en la seguridad que brinda el elemento aun en condiciones muy desfavorables durante su vida útil.

Poniendo un ejemplo ficticio práctico, se puede entender el FS de la siguiente manera: Suponiendo que se tiene una columna, la cual fue diseñada para soportar 6 toneladas de carga y en ella descansarán 2 vigas, y cada una de estas transferirá una carga de 2 toneladas a la columna. Por lo tanto, se puede apreciar que nuestro FS es de 1.5 ($FS = 6/4 = 1.5$). Aunque en este ejemplo se trató como un tema simple, en la realidad es algo mucho más complejo. Se deben considerar diversos criterios como son las cargas vivas (las personas que utilizarán el edificio), las cargas muertas (mobiliario, por ejemplo), las cargas accidentales, así como factores ambientales.

2. METODOLOGÍA DEL PROCESO DE REPARACIÓN

2.1 Inspección de daños

Antes de realizar cualquier intervención en la estructura, fue necesario realizar una inspección de los daños, basada en la normativa mexicana (NMX-C-505-ONNCCE, 2016; NMX-C-520-ONNCCE, 2018), para poder establecer las estrategias de reparación. Dichas inspecciones ya han sido publicadas (Briceño-Mena et al, 2021) y pueden consultarse en la literatura para más detalle. Estas inspecciones tuvieron 4 ejes principales:

- Visual, para poder identificar las zonas con daños que requirieran una intervención mayor y posibles causantes de problemas patológicos como son zonas de humedad, así como desprendimientos, agrietamientos, etc.
- Mecánica, para conocer el estado del concreto como es su resistencia mecánica y poder establecer la resistencia del nuevo concreto a usar.
- Electroquímica, para conocer el estado del acero, que tan dañado podría estar por los problemas patológicos.
- Química, para determinar los agentes agresivos que están propiciando los daños en los elementos estructurales.

2.2 Estrategias de reparación

Después de la inspección realizada, se pudo constatar que los elementos estructurales y arquitectónicos podrían ser intervenidos para su consolidación con la nueva estructura a construirse al interior del edificio como parte de su cambio de uso. Todas las estrategias de reparación fueron establecidas para poder brindar a la estructura una nueva vida de servicio y una durabilidad contra

los problemas patológicos actuales y futuros a los que pudiese verse sometida, considerando las características mecánicas de los propios elementos, así como el uso de los factores de seguridad (NMX-C-530-ONNCCE, 2018; Val y Stewart, 2002; Melchers, 2001). A su vez, estas estrategias se basaron en experiencias previas y en la literatura como es el manual Rehabilitar (Helene y Pereira, 2003). El fin de estas reparaciones fue retirar el concreto dañado o que presentara algún problema patológico como carbonatación, así como asegurar la estabilidad estructural con el recálculo y reestructuración de la cantidad de acero necesaria en los elementos, además de asegurar el recubrimiento adecuado según los requerimientos estructurales. La Figura 3 muestra procesos de deterioro de la estructura. Para delimitar las estrategias de reparación era necesario establecer los tipos de reparación a utilizar:



Figura. 3. Carbonatación y desprendimiento del concreto

2.2.1 Reparación superficial localizada (RSL).

Esta reparación se refiere a aquellos elementos que presentaran daños en el concreto con poca profundidad y extensión en relación con las dimensiones del elemento estructural. Por lo anterior se estableció una reparación en zonas puntuales donde se aprecien agrietamientos a una profundidad no mayor de los 3 cm o antes de llegar al acero de refuerzo

2.2.2 Reparación superficial uniforme (RSU).

Esta estrategia de reparación es parecida a la reparación superficial localizada ya que se realizará a una profundidad no mayor de los 3 cm, o antes de llegar al acero de refuerzo, pero contemplando la reparación en una extensión relativamente grande de acuerdo con las dimensiones del elemento estructural, delimitando para los trabajos una extensión máxima sobre el elemento de 1.5 m.

2.2.3 Reparación profunda localizada (RPL).

Esta reparación se llevará a cabo en los elementos estructurales donde se hayan identificado daños con extensión relativamente pequeña, siendo su profundidad mayor que 3 cm, afectando el concreto detrás de las armaduras.

2.2.4 Reparación profunda uniforme (RPU).

Al igual que en el apartado de reparación profunda localizada, la reparación se realiza a una profundidad más allá del acero. Sin embargo, al ser uniforme, se estableció la realización de la reparación por secciones máximas de 1.5 m, debido a cuestiones estructurales.

3. PLANTEAMIENTO Y USO DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN LAS REPARACIONES

Las técnicas de reparación planteadas se realizaron con el fin de aplicar en los procesos constructivos herramientas que permitan evitar procesos innecesarios como la demolición, que traerían consigo la generación de escombros y basura y más aún en zonas importantes como lo es un patrimonio de la humanidad.

Como punto de partida inicial para realizar la reparación, fue importante analizar cada elemento individualmente, su comportamiento, su carga portante máxima, su estado, y posteriormente proyectarlo a un nivel general relacionándolo con todos los elementos estructurales, obteniendo así un comportamiento global. De esta forma, fue posible realizar la intervención considerando todos los factores de afectación posibles y minimizando daños colaterales del proceso de reparación. Esto a su vez conlleva a realizar una capacitación del personal para elaborar las reparaciones ya que, en la actualidad, tanto los obreros como los ingenieros, desconocen de estos temas lo que provoca un uso incorrecto de herramientas, materiales y equipo.

Si bien, una estrategia de reparación puede ser realizada por gente capacitada, siempre es importante tener en cuenta los factores de seguridad y riesgo a la hora de trabajar.

La teoría del FS fue llevada a la práctica en el proceso de reparación de la estructura descrita en este trabajo. Para ello se requirió el apoyo de manuales, normativa, literatura y experiencia propia para establecer con el mejor criterio la estrategia idónea por elemento. Como se comentó anteriormente, gracias a la inspección previa se pudo establecer el grado de daño y con ello la estrategia de reparación. Si bien se establecieron 4 posibles, en este trabajo solo se discutirá lo relacionado a la reparación profunda uniforme (véase Figura 4)

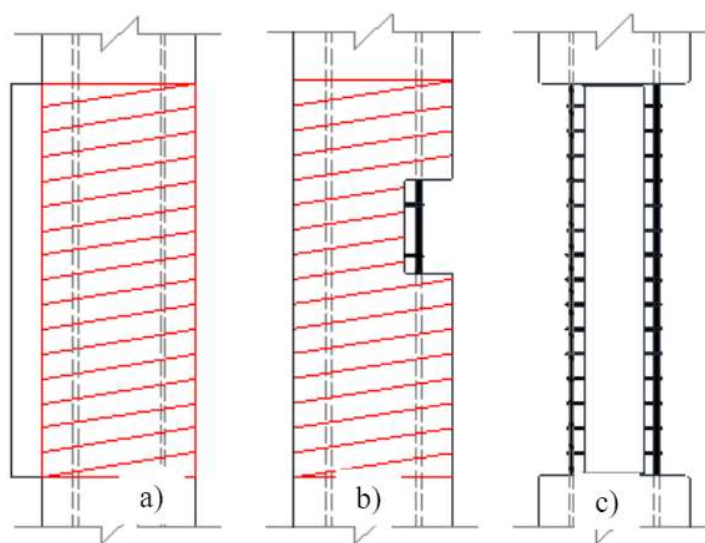


Figura. 4. Reparación profunda uniforme: a) Delimitación del área a demoler, b) escarificación iniciada, c) sección final después de escarificación

Para poder llevar a cabo las reparaciones, fue necesario establecer el criterio con el cual se realizarían. En el caso de esta estructura se tuvieron elementos de distintas dimensiones por lo que se establecieron criterios de reparación universales pero que tenían que ser verificados antes de su ejecución. Una RPU puede ser de una gran extensión o no en relación con el tamaño del elemento. Sin embargo, en este caso y para no recurrir a materiales, mano de obra y tiempo como es en el caso de la instalación de puntales de estabilización, se determinó por practicidad que lo mejor era realizar las reparaciones en tramos de 1.5 m lineales. A continuación, se presenta el ejemplo de una

columna tipo rectangular. La columna tipo (véase Figura 5), presentaba una sección transversal de 30x35 cm y con ayuda de las pruebas mecánicas realizadas se pudo obtener la resistencia promedio a la compresión del concreto, la cual se encuentra superior a los 200 kg/cm². Considerando la sección transversal del elemento y la mínima resistencia obtenida se puede deducir que la columna es capaz de soportar una carga axial de 210,000 kg. Ahora bien, si se escarifica el concreto en mal estado, y se repara más allá del refuerzo, recordando que la reparación profunda uniforme es la que se da más allá de los 3 cm o detrás del refuerzo, la nueva sección transversal del elemento es de 25x30 cm. Si se utiliza esta nueva sección transversal y la resistencia a la compresión obtenida anteriormente con los cilindros extraídos se puede determinar que la estructura, aún con la reducción en la sección de concreto, es capaz de soportar 150,000 kg. Si se considera que, por lo menos, el elemento fue diseñado con un FS de 1.5, entonces la estructura fue diseñada inicialmente para soportar una carga de 140,000 kg de forma segura. Por lo tanto, incluso después de escarificado, el elemento a reparar aún puede soportar las cargas ejercidas ya que es capaz de resistir hasta 150,000 kg. Esto podría no ser del todo cierto ya que no es un análisis que contemple todas las afectaciones posibles que puedan existir al momento de realizar las reparaciones. Sin embargo, es una buena estrategia para ser llevada en campo ya que permite una rápida apreciación de hasta donde se puede intervenir sin afectar estructuralmente al elemento y poder continuar con los trabajos de reparación una vez realizado el diagnóstico.

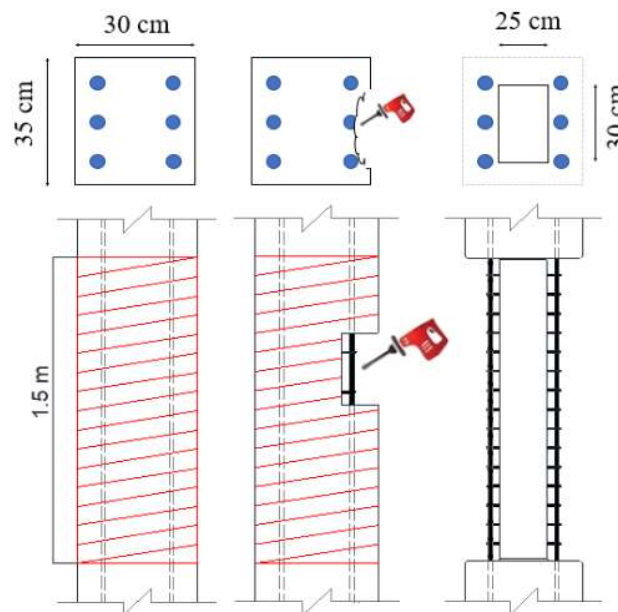


Figura. 5. Criterio de delimitación y escarificación de reparaciones

Para el proceso de reparación se realizó una guía la cual pudiera ser seguida con facilidad por los obreros y que a su vez fuera repetible en varios elementos. En la Figura 6 puede observarse este proceso. Para realizar las reparaciones y con el fin de controlar diversos problemas como son las contracciones por temperatura, módulos de elasticidad, etc, se optó por utilizar un concreto de características similares para realizar la reparación de los elementos.



Escarificación mecánica para eliminar el concreto en mal estado y descubrir el acero de refuerzo



Medición del diámetro del acero de refuerzo, si la pérdida de diámetro era mayor a la permisible, el acero era completado o sustituido. En algunos casos se colocó acero de refuerzo transversal completo por el desgaste excesivo



Se perforaron agujeros para la colocación del nuevo acero que sustituyera al corroído. Para su correcto anclaje, se inyectó una resina epóxica de alto rendimiento para altas cargas



Antes de realizar el desplante, la base de todos los elementos fue recubierta con un impermeabilizante asfáltico alrededor del suelo para evitar alguna penetración de humedad o agentes corrosivos



Por la experiencia previa de la inspección, se recomendó aplicar al acero un convertidor de óxido



Previo al colado, se aplicó un puente de adherencia para asegurar la homogenización del concreto nuevo con el viejo, éste también tiene la función de sellador



Posterior al colado y después del descimbrado, se aplicó una membrana de curado al concreto para asegurar la durabilidad

Figura. 6. Proceso de reparación profunda uniforme

Como es natural, el trabajo de los obreros suponía en alguna ocasión la rotura de la sección transversal del concreto o ir más allá de la sección mínima requerida según el FS. En estos casos las precauciones incluían no solamente apuntalamiento puntual, sino también tomar en cuenta el monolitismo de la estructura al transferirse las cargas excedentes de la sección contemplada hacia los elementos vecinos.

Con este trabajo se ha podido demostrar en forma sencilla la facilidad y confianza con la que puede abordarse una RPU en columnas tomando en cuenta un cálculo sencillo del FS. La Figura 7 muestra una vista nocturna del edificio ya recuperado.



Figura 7. Vista del edificio de la intervención

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo como fin presentar el caso práctico de la reparación de las columnas de una estructura de concreto reforzado de 70 años, la cual se encontraba en estado de abandono y se había proyectado su demolición total. Por mandato de las autoridades se realizó un estudio de durabilidad que arrojó como resultado cambiar el proyecto de demolición a uno de reparación. Para realizar esta reparación, fue necesario consultar distintas fuentes didácticas como experiencias previas que arrojaron realizar un manual práctico para los obreros. Este manual se basó en criterios de durabilidad, así como en especificaciones de diseño que permitiesen trabajar con seguridad. El FS tuvo un papel importante en la determinación del mecanismo de reparación que trajo consigo un importante ahorro en recursos y tiempo. Con estos procedimientos de reparación se proyecta tener una estructura durable que sea capaz de cumplir con la vida de servicio establecida con un mantenimiento preventivo.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de Coppel SA de CV, la UACAM, Cinvestav, INAH e INBA. J.A. Briceño-Mena agradece la beca de doctorado de Conacyt.

6. REFERENCIAS

- American Concrete Institute (2019), *ACI 318-19 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. Primera impresión: junio 2019. ISBN 978-1-64195-060-2
- Allen, D. E. (1991), “Limit states criteria for structural evaluation of existing buildings” *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 18, no. 6, pp. 995–1004, doi: <https://doi.org/10.1139/191-122>
- Briceño-Mena, J. A., Balancán-Zapata, M. G., Castro-Borges, P., Pérez-López, T. (2021), “Extending the Service Life of a Historical Concrete Building”, *Materials Performance*, pp. 1–8, 2021. URL: <https://materialsperformance.com/articles/coating-linings/2021/04/extending-the-service-life-of-a-historical-concrete-building>
- González Cueto Vila, A. V., Quevedo Sotolongo G. (2007), “Aplicación de la teoría de seguridad al diseño de cimentaciones en arenas. Chequeo de linealidad” *Revista Ingeniería de Construcción* Vol. 22 No. 2, pp. 81–88, www.ing.puc.cl/ricvol. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v22n2/art02.pdf>
- Ridell C. R., Hidalgo O. P. (2010), *Diseño Estructural*, Quinta. Pontificia Universidad Católica de Chile. I.S.B.N. 956-14-0463-X
- Helene, P., Pereira, F. (2003), *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón - reparación, refuerzo y protección*. Red Rehabilitar, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), 2003.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo - Minvu (2018), *Vol. 4. Manual De Reparaciones Y Refuerzos Estructurales*. Editor: División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional – Ditec, Minvu, ISBN: 978-956-9432-85-9. Gobierno de Chile, febrero de 2018.

Melchers, R. E. (2001), “*Assessment of existing structures—approaches and research needs*” J. Struct. Eng., vol. 127, no. 4, pp. 406–411, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2001\)127:4\(406\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2001)127:4(406))

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S. C. (2016) *NMX-C-505-ONNCCE, Industria de la Construcción – Inspección Preliminar de Daños en Estructuras de Concreto Hidráulico con Criterios de Durabilidad - Procedimientos*.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S. C. (2018), *NMX-C-520-ONNCCE, Industria de la Construcción-Inspección Detallada de Daños en Estructuras de Concreto Hidráulico con Criterios de Durabilidad-Procedimientos*.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S. C. (2018) *NMX-C-530-ONNCCE, Industria de la construcción – Durabilidad – Norma general de durabilidad de estructuras de concreto reforzado – Criterios y Especificaciones*.

Val, D. V., Stewart, M. G. (2002), “*Safety Factors for Assessment of Existing Structures*,” J. Struct. Eng., vol. 128, no. 2, pp. 258–265, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2002\)128:2\(258\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:2(258))