

# Efecto de las cargas y la corrosión en la estructura de puentes de concreto reforzado.

*Effect of loads and corrosion on the structure of reinforced concrete bridges.*

Ing. Tannia Magally Solís Santamaría <sup>1\*</sup> & Ing. Stefanía Matilde Amaya Sandoval <sup>2</sup>

1.\* Magister en Mecánica mención manufactura. GAD Municipalidad de Ambato, Sangolqui, Ecuador.

Email: [tannita.90@hotmail.com](mailto:tannita.90@hotmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5607-0161>

2. Ingeniera Automotriz. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolqui, Ecuador.

Email: [smamaya@espe.edu.ec](mailto:smamaya@espe.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8640-4214>

Destinatario: [tannita.90@hotmail.com](mailto:tannita.90@hotmail.com)

Recibido: 10/Diciembre/2021

Aceptado: 08/Enero/2022

Publicado: 28/febrero/2022

**Como citar:** Solís Santamaría, T. M., & Amaya Sandoval, S. M., (2022). Efecto de las cargas y la corrosión en la estructura de puentes de concreto reforzado. E-IDEA Journal of Engineering Science, 4 (9), 55-64. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id227>

**Resumen:** La seguridad y durabilidad estructural de los puentes de concreto reforzado se pueden considerar como uno de los temas de investigación de mayor interés en distintos ámbitos tanto académicos, empresas, como gubernamentales puesto que el deterioro de las estructuras y principalmente los puentes traen problemas de seguridad y económicos, debido a que se ve afectada cualquier red de infraestructura de transporte. La corrosión es una de las principales causas para el deterioro de las estructuras del concreto reforzado. Sin embargo, considerar las cargas a las cuales es para lo cual se diseña los puentes, permite tener una visión más general de las condiciones a la cual estaría sometido los puentes, por lo que este trabajo de investigación se plantea describir de manera teórica el efecto de las cargas y la corrosión sobre la estructura de puentes de concreto, sus implicaciones y como afecta tanto la vida útil. Este se centra en desarrollar el trabajo de forma documental y de tipo descriptivo.

**Palabras claves:** Corrosión, concreto reforzado, puentes, cargas.

**Abstract:** The safety and structural durability of reinforced concrete bridges can be considered as one of the research topics of greatest interest in different academic, business, and government fields, since the deterioration of structures and mainly bridges bring safety and security problems. economic, since any transport infrastructure network is affected. Corrosion is one of the main causes for the deterioration of reinforced concrete structures. However, considering the loads to which the bridges are designed, allows a more general vision of the conditions to which the bridges would be subjected, so this research work proposes to theoretically describe the effect of loads and corrosion on the structure of concrete bridges, its implications and how it affects both the useful life. This focuses on developing the work in a documentary and descriptive type.

**Keywords:** Corrosion, reinforced concrete, bridges, loads.

## INTRODUCCIÓN

**E**l concreto reforzado es el material de construcción más extensamente empleado en la construcción de muchas de las infraestructuras en todo el mundo, tales como autopistas, carreteras, puertos, aeropuertos, puentes, entre otros. Este material, al efectuar el proceso de preparación de la mezcla que la forma, así como todo lo relacionado su elaboración de manera adecuada, se logra obtener excelentes ventajas, por sus buenas propiedades y gran durabilidad, (Gharehbaghi y Rahmani, 2018).

En el mismo orden de idea, el concreto reforzado es el material de construcción que permite elaborar formar y disposiciones en el diseño flexibles, al igual que son capaces de soportar esfuerzos de flexión y torsión de manera seguras, capaces de satisfacer los requisitos de diseño, así como lo explica Gharehbaghi y Rahmani (2018) y concuerda con Kashani et al., (2019).

Adicionalmente, expone Torres (2020), el concreto al ser una mezcla multicomponente (cemento, agregados de diferente naturaleza, y agua) presenta plasticidad y fluidez, lo que permite, al ser vaciado en molde de diferentes formas, pueda conseguir copiar dicha forma, luego de fraguar. Conjuntamente, haciendo un control adecuado de los factores en el proceso de preparación, se consigue obtener mayor durabilidad del material. (Moreno, 2019)

Cabe considerar lo expresado por Torres (2020) y Pacheco G. (2020), sobre la constitución del concreto reforzado, el cual lo forma el concreto (cemento, agregado y agua) y el acero de refuerzo o soporte, permitiendo en su conjunto soportar cargas a tracción, entendiendo que el concreto presenta excelentes propiedades a cargas a compresión, pero deficientes a tracción. Permitiendo que las estructuras puedan mantenerse en pie, aun y cuando estén soportando diferentes esfuerzos.

De igual modo, debido a la naturaleza del concreto, este presenta muy buena resistencia a la interacción que pueda suceder con los agentes del medio que lo rodea, así como, proteger de la corrosión al acero de refuerzo, debido a que el concreto al poseer un alto pH, lo que favorece la formación de una capa pasiva de óxido sobre el acero de refuerzo, limitando o disminuyendo los valores de la tasa de corrosión insignificantes (Fahim et al., 2018).

Conjuntamente, la durabilidad de las estructuras elaboradas con concreto reforzados, son afectadas si no se toman en consideración la influencia que tienen factores como: la calidad del concreto, agresividad del medio ambiente y la corrosión que se puede presentar en el acero de refuerzo. (Torres, 2020)

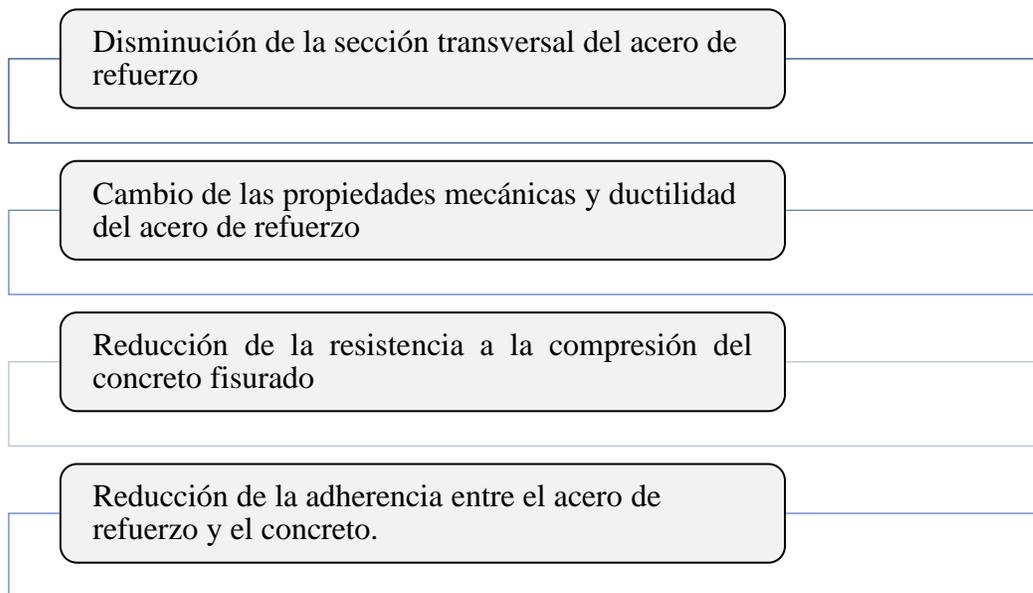
El ambiente y los agentes asociado a estos, a la cual están sometidos las estructura e infraestructuras de concreto se pueden mencionar: lluvia ácida, sales, agua destilada,

carbonatación, azufre, etc., lo que, con el tiempo, pueden afectar de manera significativa el comportamiento y la durabilidad de las estructuras. (Gharehbaghi y Rahmani, 2018).

Considerando lo antes expuesto, en la figura 1 se muestra los principales efectos de la corrosión en los elementos que componen las estructuras realizadas con concreto reforzado.

**Figura 1.**

*Principales efectos de la corrosión sobre los elementos estructurales fabricado de concreto reforzado.*

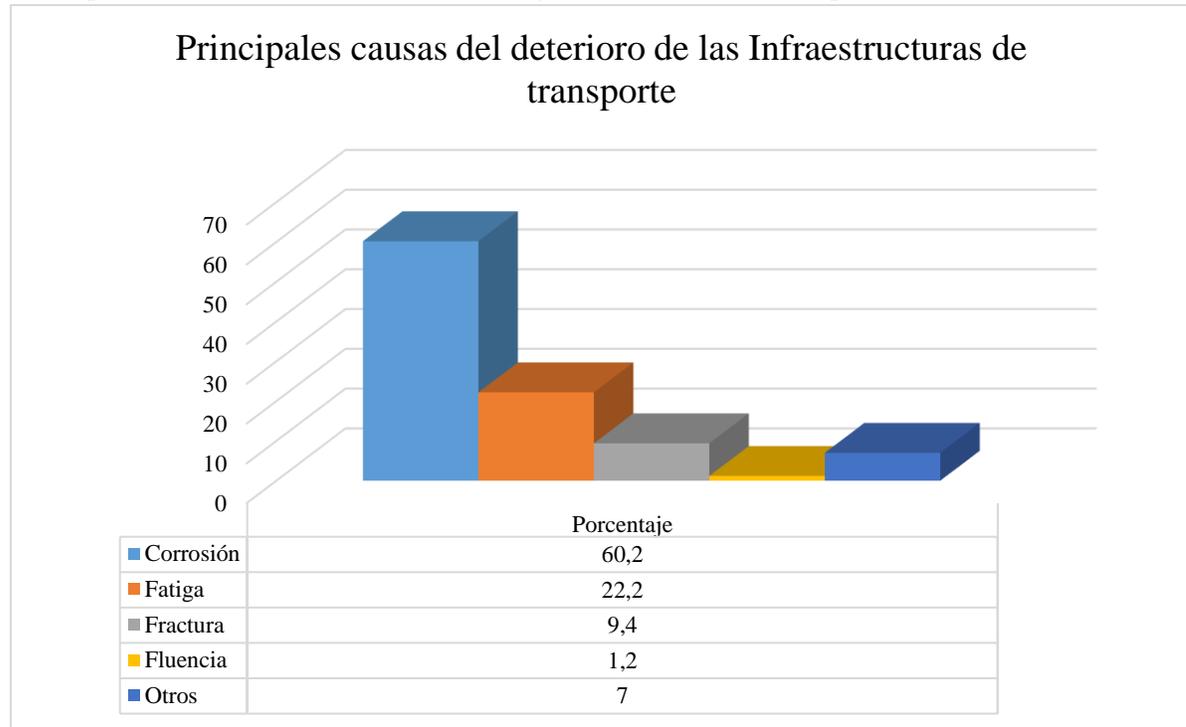


**Fuente:** propia a partir del análisis de lo planteado por (Kashani et al, 2019).

En el mismo orden de idea, el deterioro del concreto reforzado es multifactorial, en otras palabras, este deterioro se puede desarrollar como resultado de las deficiencias en el diseño estructural, hasta la corrosión del acero de refuerzo, en la Figura 2 se puede ver las principales causas de deterioro de las estructuras.

**Figura 2.**

*Principales causas del deterioro de las infraestructuras de transporte en Australia.*



**Fuente:** propia a partir de (Gharehbaghi y Rahmani, 2018).

Como se puede observar en la Figura 2, la corrosión es la causa más común del deterioro de las infraestructuras del concreto reforzado. Esto debido a que el óxido que se forma entre el acero de refuerzo y el concreto se expande progresivamente, induciendo tensiones en el concreto, y finalmente, produce la formación de grietas y desconchados, (Kashani et al., 2019). Asimismo, debilita la unión entre el acero y el concreto, lo que afecta la resistencia a la tensión y a esfuerzos de corte, disminuyendo el rendimiento de los elementos que conforman la estructura, provocando el colapso de sistema estructural.

De igual manera, de la Figura 2 se observa que como segunda y tercera causa del deterioro de las estructuras son la fatiga y la fracturas, ambas están relacionadas con los esfuerzos a la cual está sometida la estructuras de concreto, es decir a las cargas a la cual están sometidas dichas estructuras (Crespi et al., 2020; Chen et al., 2017).

Adicionalmente, la corrosión del acero de refuerzo en el concreto, produce la disminución del área transversal del refuerzo, por lo que se ve comprometido el comportamiento mecánico, del acero y por lo tanto del conjunto (acero y concreto) (Chen et al., 2017). Así mismo, resultados de ensayos de tracción las barras de acero de refuerzo corroídas, se han observado que se disminuye el límite de fluencia, la resistencia última y la deformación. (Chen et al., 2018).

En este trabajo de investigación se espera abordar de manera teórica el efecto que tiene las cargas aplicadas y la corrosión sobre la estructura de puentes de concreto, siendo una de las estructuras que al estar sometidas a diferentes cargas (viento, tránsito) y ambientes, son más sensibles a sufrir problemas de corrosión y a su vez a estar soportando esfuerzo por cargas.

## METODOLOGÍA

El propósito de este trabajo de investigación es describir los efectos de la corrosión y las cargas sobre las estructuras de los puentes, y entendiendo lo expresado por Hernández et al. (2014), sobre que toda investigación que propone explicar las características de algún proceso, las propiedades, y singularidades de algún fenómeno en particular sujeta a estudio, se contempla como una investigación descriptiva.

En el mismo orden de idea, interpretando que cualquier información planteada en un trabajo de investigación, donde se tenga el propósito de plantear diferencias, periodos o faces, correlaciones, o estado actual del conocimiento acerca de un tema (Bernal T., 2010), se considera que esta investigación es de tipo documental, puesto que se espera plasmar de manera teórica en este trabajo, los efectos de la corrosión y las cargas sobre las estructuras de concreto reforzado.

En consonancia con lo planteado en el párrafo anterior, además se espera proporcionar fundamentos teóricos sobre la corrosión y las cargas en los puentes de concreto reforzado, esta investigación se puede considerar como una investigación teórica de tipo básica (Mejías M., 2005). De igual modo, como en ningún momento se manipuló alguna variable, esta investigación es no experimental (Hernández et al., 2014).

La información que se muestra en este trabajo de investigación, se fundamenta en una extensa y minucioso análisis de publicaciones científicas, enfocándose en artículos publicados en repositorios y bases de datos de universidades, así como en Google Scholar, Elsevier, y sitios web de ciencias e investigación. Además, los artículos a considerar para la investigación se limitaron a los publicados desde el año 2017 hasta el presente. Se usaron para la búsqueda palabras clave como, corrosión, cargas, puentes, concreto reforzado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha encontrado en trabajos como los desarrollados por Kashani et al., (2019), donde se infiere que gracias a un análisis de regresión sobre datos experimentales tomado de estudios de

vigas de concreto reforzado corroídas, muestra que tanto la resistencia a la flexión como la disminución de ductilidad siguen una tendencia lineal similar, siendo esta últimas más acentuada.

Asimismo, se ha conseguido demostrar que el comportamiento mecánico de pilares de puente sometido a cargas a compresión axial, se deterioran de manera significativamente por la corrosión del acero de refuerzo en el concreto. Logrando cuantificar la reducción en porcentajes de los valores en parámetros tan importantes como la carga última, el factor de ductilidad y la disipación de energía, los cuales están en el orden de 29,96 % para la carga última, 9,26 % para la ductilidad y 67,44 % para la disipación de energía, datos que se obtienen contrastando con muestra libres de corrosión, (Zhou et al, 2020).

Del mismo modo, se han planteado que a medida que aumenta el nivel de corrosión en el acero de refuerzo en el concreto, se disminuye la ductilidad y la resistencia a la compresión del concreto. Dando como consecuencia una disminución significativa en la capacidad de soportar cargas de compresión axial en las columnas en regiones sísmicas. (Kashani et al, 2019).

A mismo tiempo, trabajos como el desarrollado por Yang et al. (2020) han estimado que la corrosión, en este caso la corrosión por picaduras, en el acero de refuerzo se ve influenciadas de manera significativa por el valor de la carga a la cual está sometida, por lo que concluye que cuanto mayor es el valor de la carga sostenida, más significativo era el daño por corrosión.

Se puede mencionar que, en la investigación de (Zhou et al., 2020) realizando experiencias en pilares en puentes manufacturados con concreto reforzado con acero corroído, sometidas a cargas cíclicas, las curvas de histéresis de estas, presento un comportamiento de PINZAMIENTO con un aumento de la corrosión. A su vez, se observa que los valores de la carga última, la rigidez inicial, el factor de ductilidad y la disipación de energía de los pilares evaluados disminuyen, en comparación con el espécimen intacto.

Dentro de este marco, trabajos de investigación como el presentado por Crespi et al., (2020), donde estima mediante análisis computacional, y partiendo de métodos de análisis multimodal, evaluar de manera adecuada las vulnerabilidades sísmicas de puentes, sometidas a esfuerzos dinámicos complejos, así como diferentes niveles de corrosión producido por la carbonatación y mecanismo del colapso de las estructuras.

Asimismo, Crespi et al., (2020) en este trabajo que, para el nivel de corrosión bajo o ligero, los valores de índice de riesgo para los mecanismos de colapso considerados, no se ve afectado por la corrosión, puesto que no existe una reducción importante en el área de las barras de acero de refuerzo. Sin embargo, a medida que aumenta el nivel de corrosión, el índice de riesgo se ve afectado, puesto que aumenta la posibilidad de producirse los mecanismos de colapso considerado para el estudio (colapso frágil, colapso dúctil).

Por otro lado, Kashani et al., (2019), han observado a través de la experiencia analizadas, que las columnas rectangulares de concreto reforzado con acero corroídos, presenta un comportamiento a la flexión con una tendencia lineal, sin embargo, para el caso de las columnas circulares, este comportamiento de ningún modo se observa, por lo que es necesario someter a mayor análisis las columnas circulares.

Debe señalarse que, en los resultados de Crespi et al., (2020) plantean que, gracias a el procedimiento propuesto y analizado, permite identificar los principales elementos estructurales que pueden llegar a colapsar. Por lo que es de gran utilidad al momento de la planificación de los mantenimientos e inspección de la los puentes.

En el mismo orden de idea, en el trabajo de Zhou et al. (2020), al comparar el comportamiento de los pilares sometidos a cargas axiales y cíclicas, se logró observar que el deterioro es similar, sin embargo, para los pilares sometidos a solo cargas axiales presento un deterioro ligeramente mayor que a los pilares sometidos a cargas cíclicas.

En opinión de Ruiz et al. (2019) luego de realizar su estudio, estiman que se tiene que considerar para la evaluación de las estructuras, y en particular las columnas de los puentes de concreto, las cuales se ubican en zonas costeras, en tramos con afluentes, carreteras cercas del mar, tienen altas posibilidades que presentes deterioro por corrosión.

Es importante resaltar, lo que se plantea en el trabajo de Bastidas (2018), donde se introdujo un análisis estocástico de manera que se involucró la incertidumbre en el estudio, logrando determinar que, para ciertos parámetros como la frecuencia de tráfico, la fatiga y la corrosión, se produce a reducir la vida útil de una viga de concreto reforzado de un puente.

Asimismo, continua Bastidas (2018) si se considera el efecto del cambio climático como único factor a considerar, la vida útil de la estructura se reduce muy poco, disminuyendo aun mas si se considera otro factor como la fatiga. Por lo que concluye que es importante incluir el efecto combinado de la corrosión y la fatiga para una evaluación integral de la vida útil de las estructuras de puentes de concreto reforzado.

Por un lado, concluye Ruiz et al. (2019), en su trabajo de investigación que, para mejorar la evaluación de los elementos estructurales, es de gran ayuda considerar el daño por corrosión en los diagramas momento-curvatura puesto que permite explicar de mejor manera el comportamiento del elemento en estudio.

Adicionalmente, mediante ensayos a elementos estructurales se ha logrado analizar vigas agrietadas por corrosión, donde se determinó que el número de grietas en el concreto sometido a la carga de fatiga disminuye, aumentando el espaciado promedio entre grietas. Se igual manera, la propagación de la grieta por fatiga se presenta en tres etapas (Ma et al., 2018).



Además, continúa desarrollado Ma et al. (2018) que la grieta una vez aparecen y aumenta continuamente, asimismo, el crecimiento de grietas tiende a disminuir después de cierto número de ciclos; y el ancho de la grieta aumenta significativamente, por lo que se puede identificar como la grieta principal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastidas, E. (2018). Reliability of Reinforced Concrete Structures Subjected to Corrosion-Fatigue and Climate Change. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12(10). doi:10.1186/s40069-018-0235-x
- Bernal T., C. A. (2010). *Metodología de la Investigación* (Tercera ed.). Colombia: Prentice Hall.
- Chen, H., Li, B., & Wang, Y. (2017). Experimental study on mechanical properties of corroded steel fibers under static and dynamic loading. *Materials and Corrosion*, 1-11. doi:10.1002/maco.201709902
- Chen, H., Zhang, J., Yang, J., & Ye, F. (2018). Experimental investigation into corrosion effect on mechanical properties of high strength steel bars under dynamic loadings. *International Journal of Corrosion*, 2018, 1 - 12. doi:10.1155/2018/7169681
- Crespi, P., Zucca, M., & Valente, M. (2020). On the collapse evaluation of existing RC bridges exposed to corrosion under horizontal loads. *Engineering Failure Analysis*, 116. doi:10.1016/j.engfailanal.2020.104727.
- Fahim, A., Ghods, P., Isgor, O., & Thomas, M. (2018). A critical examination of corrosion rate measurement techniques applied to reinforcing steel in concrete. *Materials and Corrosion*, 69(12), 1784 - 1799. doi:10.1002/maco.201810263
- Gharehbaghi, K., & Rahmani, F. (2018). Deterioration of Transportation Infrastructures: Corrosion of Reinforcements in Concrete Structures. *Materials Science Forum*, 940, 160 - 166. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.940.160
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw Hill.
- Kashani, M., Maddocks, J., & Afsar Dizaj, E. (2019). Residual capacity of corroded reinforced concrete bridge components: A state-of-the-art review. *Journal of Bridge Engineering*, 24(7), 1-16. doi:10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001429
- Ma, Y., Wang, G., Su, X., Wang, L., & Zhang, J. (2018). Experimental and modelling of the flexural performance degradation of corroded RC beams under fatigue load. *Construction and Building Materials*, 191(2018), 994 – 1003. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.10.031
- Mejías M., E. (2005). *Metodología de la Investigación Científica* (Primera ed.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Unidad de Potgrado.

- Moreno, S. (2019). Análisis dinámico. Prototipo de sistema de medición de frecuencias fundamentales aplicado al Puente Isabel II de Sevilla. Universidad de Sevilla. Retrieved from <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/89650/Q%20AO%20Tfg%20ETSA%20264.pdf>
- Pacheco G., E. (2020). Análisis de la influencia de las corrientes de macroceldad en la corrosión de losas de hormigón armado. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Valencia: Universitat Politècnica de València. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10251/172034>
- Ruiz, L. L., Díaz, M. J., Tiburcio, C. G., Calderón, F. A., Croche, R., Montero, S. M., & Zamora, M. A. (2019). Efectos de la corrosión del acero de refuerzo en los diagramas momento-curvatura de columnas de concreto rectangulares. XV Congreso Latinoamericano de Patología de Construcción y XVII Congreso de Control de Calidad en la Construcción, 2. Chiapas, México. doi:10.21041/CONPAT2019/V2PAT171
- Salvadori, M., & Heller, R. (2021). Estructuras para arquitectos (Tercera ed.). Nobuko.
- Torres, J. E. (2020). Desarrollo de sensores de corrosión de estructuras de hormigón armado, basados en el principio de par galvánico. Instituto de Tecnología "Prof. Jorge A. Sabato". Universidad Nacional San Martín. Retrieved from <https://www.cnea.gob.ar/nuclea/handle/10665/1588>
- Yang, J., Guo, T., & Li, A. (2020). Experimental investigation on long-term behavior of prestressed concrete beams under coupled effect of sustained load and corrosion. *Advances in Structural Engineering*, 23(12), 1 - 10. doi:10.1177/1369433220919067
- Zhoua, H., Xua, Y., Penga, Y., Lianga, X., Lia, D., & Xing, F. (2020). Partially corroded reinforced concrete piers under axial compression and cyclic loading: An experimental study. *Engineering Structures*, 203. doi:10.1016/j.engstruct.2019.109880