

Corrosión en estructuras de hormigón armado: métodos de prevención y recuperación

Corrosion in reinforced concrete structures: prevention and recovery methods

Dione Luiza da Silva 1. Juliana Maria McCartney da Fonseca 2. Adegilson José Bento 3. Joaquin Humberto Aquino Rocha 4. Eliana Cristina Barreto Monteiro 5.

1 Profesora, M.Sc. Escala Politécnica de Pernambuco - POLI/UPE, Recife (Brasil)

dione_luizo@hotmail.com.

2 Ingeniera Civil. Escala Politécnica de Pernambuco - POLI/UPE, Recife (Brasil)

mccortney.juliono@gmail.com.

3 Estudiante de Ingeniería Civil. Escala Politécnica de Pernambuco - POLI/UPE, Recife (Brasil)

odegilsonjose19@gmail.com.

4 Profesor, M.Sc. Docente del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Privada del Valle Cochabamba (Bolivia)

joquinor@univolle.edu.

5 Profesora, PhD. Escala Politécnica de Pernambuco - POLI/UPE, Recife (Brasil), Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, Recife (Brasil)

eliono@poli.br

RESUMEN

Uno de los principales problemas que comprometen la vida útil de las estructuras de hormigón armado es la corrosión, que ocurre -sobre todo- por la interacción del hormigón con agentes externos, además de otros factores como la relación agua/cemento elevada, recubrimiento inadecuado de las armaduras y tiempos cortos de curado del concreto. La corrosión del acero es considerada como uno de los principales problemas en la construcción civil, ya que su ocurrencia puede llevar a la ruptura de la estructura. Algunas empresas del ramo de la construcción ya disponen en el mercado de algunos productos capaces de ofrecer protección a este problema, son los llamados *inhibidores de corrosión*.

El objetivo de este artículo es profundizar los conocimientos sobre la corrosión de armaduras, a fin de contribuir con la minimización de esa manifestación patológica en las estructuras de

hormigón armado. La metodología adoptada en el trabajo cuenta con una *revisión bibliográfica*

sobre corrosión de armaduras, comentando sobre los mecanismos y los factores que la influyen e indicando los métodos de prevención y control.

Adicionalmente, se incluye el estudio de algunos casos de ocurrencia de esa manifestación patológica en la Región Metropolitana de Recife. Se espera que el presente artículo contribuya a un conocimiento más amplio del tema a fin de ofrecer mayor seguridad y durabilidad a las estructuras de hormigón armado en las obras de ingeniería civil.

Palabras clave: Hormigón armado. Corrosión. Durabilidad.

ABSTRACT

One of the main problems that compromise the useful life of reinforced concrete structures is

corrosion, which occurs, above all, due to the interaction of concrete with external agents, as well as other factors: high water/cement ratio, inadequate reinforcement coatings and short concrete curing times. The corrosion of steel is considered one of the main problems in civil construction, since its occurrence can lead to the structure to rupture. Some companies in the construction industry already have on the market some products capable of offering protection to this problem, corrosion inhibitors.

This article aims to deepen the knowledge on the corrosion of reinforcements to help minimize this pathological manifestation in reinforced concrete structures. The methodology adopted in the article has a bibliographic review on reinforcement corrosion, commenting on the mechanisms and the factors that influence it, indicating the methods of prevention and control. Additionally, the study of some cases of occurrence of this pathological manifestation in the Metropolitan Region of Recife is included. It is expected that this article contributes to a broader knowledge of the subject to offer greater safety and durability to reinforced concrete structures in civil engineering works.

Keywords: Reinforced concrete. Corrosion. Durability.

INTRODUCCIÓN

Desde mediados del siglo XIX, la utilización del hormigón armado en las obras de construcción civil viene ganando espacio, llegando a ser considerado como un material bastante duradero; sin embargo, estas estructuras que están expuestas a las acciones ambientales son propensas al surgimiento de diversas manifestaciones patológicas. La aparición de estos problemas ya fue detectada en el siglo XX, con una alta intensidad e incidencia, lo cual representaba elevados costos de recuperación (Helene, 1993).

La corrosión de las armaduras de hormigón es

un fenómeno de naturaleza electroquímica que puede ser acelerado por la presencia de agentes químicos externos o internos al hormigón (Helene, 1992). Esta manifestación patológica es considerada como uno de los mayores problemas que puede afectar a las estructuras de hormigón armado, una vez que su principal característica es la reducción de la sección de la armadura, comprometiendo la resistencia de la estructura. Su origen puede estar en la etapa de proyecto, en la elección inadecuada de los materiales utilizados o en las fallas del proceso constructivo (Mota, 2009).

En Brasil, la corrosión de armaduras es responsable de casi el 20 % de todas las manifestaciones patológicas encontradas en el hormigón armado (Helene, 1992). Algunos autores afirman que los índices de corrosión de armaduras superan el 30 % en el estado de Río Grande del Sur y en Brasilia (Galvão, 2004 & Semo, 2000).

Según Andrade (1997) y Pontes et al. (2007), la ciudad de Recife presenta un índice bastante preocupante de ocurrencia de corrosión de armaduras, de aproximadamente el 65 %; los autores sugieren que ese índice se deba posiblemente a su posición geográfica con relación a la proximidad del mar.

En un estudio realizado en Recife por Mota et al. (2009), se analizaron las manifestaciones patológicas en piezas de hormigón armado ubicadas en el paseo marítimo del barrio de Boa Viagem, con una distancia media de 7 metros del mar, constatando una disposición media de cloruros de 586,27 mg/m². Los autores concluyeron que gran parte de las piezas estructurales inspeccionadas presentaban niveles elevados de deterioro, los elementos estructurales dañados estaban prácticamente al final de su vida útil. Los autores también verificaron un bajo índice de carbonatación en las piezas estudiadas, constatando el ataque de iones cloruro, mayormente, lo que explicaría el deterioro avanzado de las piezas estructurales.

Corrosión de armaduras

Definición

Gran parte de los metales encontrados en la naturaleza se componen de óxidos, pues esta forma representa un estado estable, salvo los raros metales nobles. Con ello, la corrosión no es más que la tendencia natural del elemento volver a su fase más estable y, generalmente, se da en forma de óxidos de hierro.

Este proceso consiste en una interacción destructiva, que resulta en la inutilización del material para el uso adecuado, ya sea por una reacción química o electroquímica, donde el metal pasa a un estado no metálico, implicando una pérdida de las respectivas cualidades esenciales del acero como la resistencia mecánica, elasticidad y ductilidad (Casado, 1997).

En una fase inicial del proceso de corrosión, los agentes agresivos transforman las condiciones iniciales del concreto que envuelve el acero, lo que provoca la pérdida de la protección de la armadura, originando una célula de corrosión que es responsable por la propagación de la corrosión (Figueiredo & Meira, 2013).

La formación de una célula electroquímica o célula de corrosión depende de la existencia de cuatro componentes: un ánodo, donde ocurre la reacción de oxidación o disolución; un cátodo, donde sucede la reacción de reducción; un conductor metálico, donde tiene lugar la conducción de corriente eléctrica (flujo de electrones), normalmente se materializa en la misma armadura; y un electrolito, un medio acuoso donde la corriente pasa a través de un flujo de iones (Fariás, 1992).

En la superficie del acero, durante el proceso corrosivo, surgen ánodos oriundos de la depuración del acero, favoreciendo la disolución del hierro, liberando electrones para los cátodos. En la tabla N°1 están las posibles reacciones en los procesos corrosivos.

Tabla N°1. Reacciones de la corrosión

Región	Reacción probable	Características del producto formado
Zona anódica	$2Fe \rightarrow 2Fe^{2+} + 4e^-$	
Zona catódica	$2H_2O + O_2 + 2e^- \rightarrow 4OH^-$ $2Fe^{2+} + 4OH^- \rightarrow 2Fe(OH)_2$	Hidróxido ferroso, soluble, color marrón
Superficie de la barra o electrolito	$2Fe^{2+} + 4OH^- \rightarrow 2FeO \cdot H_2O$	Oxido ferroso hidratado, expansivo marrón
	$4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3$	Hidróxido férrico, expansivo, rojo
	$3Fe + 8OH^- \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$ $4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4FeO \cdot H_2O$	Óxido de característica mixta, férrico y ferroso Óxido férrico hidratado, expansivo

Fuente: Adaptado de Lima (11)

Como resultado de la corrosión, hay una reducción de la sección de la armadura, pérdida de la adherencia entre el acero y el concreto y manchas superficiales oriundas de los productos de la reacción, ricos en óxidos de hierro. Estos productos ocupan más volumen que el acero original, causando grandes tensiones de tracción internas, lo que lleva al surgimiento de fisuras en el concreto, destacándose el recubrimiento del acero y, en casos extremos, culminando en el colapso de la estructura.

Factores que influyen en la corrosión de las armaduras

Carbonatación del concreto

Ocurre cuando una estructura está expuesta a altos niveles de concentración de dióxido de carbono (CO₂), que penetra en los poros del concreto reaccionando con la humedad presente, dando origen a un compuesto denominado ácido carbónico (H₂CO₃), el cual reacciona con algunos componentes de la pasta de cemento, resultando en carbonato de calcio (CaCO₃), compuesto que consume los álcalis de la pasta y reduce el pH del concreto, formando dos regiones de pH, básica y neutra, que avanzan en el interior de la estructura quitando la pasivación del acero, haciéndolo vulnerable a la corrosión. Para Helene (1993) y Figueiredo (1994), los factores que influyen en la carbonatación del concreto son:

1. Condiciones ambientales: altas concentraciones de CO₂ aumentan la velocidad de carbonatación, principalmente para concretos de elevadas relaciones agua/cemento.
2. Humedad relativa (UR) del ambiente: los poros del concreto parcialmente saturados con agua en la superficie presentan condiciones favorables a la carbonatación, siendo las mayores velocidades reactivas cuando la UR está entre 60 % y 80 %.
3. Dosificación del concreto: cuanto mayor es la relación de agua/cemento, mayor será la permeabilidad y porosidad del concreto, aumentando las posibilidades de difusión de CO₂ y agua en los poros.
4. Cura del concreto: es un proceso fundamental para reducir el efecto de la carbonatación, pues el tiempo de cura es una magnitud directamente proporcional a la hidratación de la pasta de cemento en las edades iniciales, reduciendo la porosidad y permeabilidad.

Penetración de iones cloruro

Los iones cloruro favorecen a la pérdida de la pasivación de la armadura, pues pueden

llevar al inicio de un proceso de corrosión por la ruptura de la película de óxido del concreto, y también pueden provenir del medio ambiente (atmósferas contaminadas y/o marítimas), agua, agregados contaminados y de algunos aditivos usados en la fabricación del hormigón. Para Figueiredo (1994), los iones cloruro se pueden encontrar en el hormigón de las siguientes formas:

1. Combinados químicamente: en unión con el aluminatotricálcico (C₃A) y el ferritoaluminato tetracálcico (C₄AF), presentes en el cemento, originando el cloroaluminato de calcio hidratado (componente abundante) y cloroferrato de calcio hidratado. Es importante considerar que cuanto mayor sea el contenido de C₃A del cemento, mejor es la fijación de los iones cloruro y menor es la posibilidad de pérdida de la pasivación de la armadura.
2. Físicamente adsorbidos en la zona superficial del concreto.
3. Libres en las soluciones porosas del concreto: en esta forma, los iones penetran a través del recubrimiento del concreto, sin interactuar con los compuestos de hidratación de la pasta. Consiste en la forma más perjudicial, pues - cuando alcanza la armadura - promueve la pérdida de la pasivación del acero.

Métodos de prevención y control de la corrosión de armaduras

Como la corrosión de las armaduras es uno de los principales factores de reducción de vida útil de las estructuras de hormigón armado, se consideran en la actualidad varias precauciones con relación a la calidad del concreto y, adicionalmente, se utilizan algunos aditivos que tienen la función de impedir o reducir la corrosión de las armaduras.

Según Freire (2005), para reducir o inhibir esta situación, además de la atención en la concepción y ejecución de los proyectos, existen métodos específicos que impiden esta manifestación patológica, entre las cuales se pueden citar:

Métodos electroquímicos (protección catódica y anódica).

Aislamiento de la armadura del electrolito por el uso de revestimientos orgánicos inertes (pinturas) o revestimientos con metales más nobles (galvanización).

Inhibición de la reacción catódica y/o anódica por medio de agentes (llamados inhibidores de corrosión), que reaccionan con los productos de la corrosión y forman capas impermeables en las superficies de los electrodos.

El control de la corrosión en las armaduras de forma general puede ser hecho a través de mecanismos como la protección por barrera, repasivación, protección catódica o por inhibición (Figueiredo 1994). El mecanismo de protección por barrera tiene por objetivo el control del acceso de oxígeno y humedad hasta la armadura. Un ejemplo claro de esta protección es la aplicación de una pintura de base epoxi sobre la armadura o de otro material o sistema de baja permeabilidad. La repasivación busca el restablecimiento del elevado pH alrededor de la armadura. La protección catódica se asocia a la polarización de la armadura por corriente impresa o por el uso de un metal más electronegativo que el acero, de forma que el potencial de la armadura quede en la zona de inmunidad a la corrosión. Finalmente, el mecanismo de protección por inhibición es logrado por el uso de inhibidores de corrosión anódicos, catódicos o mixtos, como - por ejemplo- los nitritos de calcio o sodio y las aminas (92013).

Ocurrencia de corrosión en armaduras en la región metropolitana de Recife Puente Paulo Guerra, Recife/PE

Descripción del puente

Inaugurado en el año 1979, el puente Pablo Guerra se encuentra sobre la cuenca del río Pina, en una región próxima al mar; por lo tanto, sujeta a la variación de las mareas. Conecta a los barrios de Cabanga y Pina y da acceso a la zona sur de la ciudad, donde se

encuentra el barrio más poblado de Recife, BoaViagem.

Según el informe técnico de la Empresa de Mantenimiento y Limpieza Urbana (EMLURB), perteneciente a la municipalidad de la Ciudad de Recife, el puente Paulo Guerra tiene una longitud total de 453 metros, construido de concreto postensado. Su estructura está formada por dos cajones unicelulares unidos por la losa superior; la inferior tiene una altura variable y la superior, constante.

Daños procedentes de la corrosión en la armadura

Los sectores de apoyos extremos de la superestructura son alcanzados por el agua cuando ocurren las mareas máximas. Se observa un elevado grado de deterioro del concreto y corrosión de la armadura. La fotografía N°1 presenta la ausencia de la capa de recubrimiento de la armadura, además de un elevado grado de corrosión y contacto directo con los aparatos de apoyo.

Fotografía N°1. Armadura expuesta presentando corrosión



Fuente: Gomes (14)

Solución adoptada

El cuadro corrosivo presentado en el puente se debe a la ausencia de un mantenimiento preventivo adecuado, lo que permitió el libre desarrollo del proceso corrosivo de las

armaduras en los apoyos, así como la falta de sustitución periódica de los aparatos de apoyo, que produjo esfuerzos excesivos en el concreto de esa región (no previstos en el diseño original). Para la solución de esta manifestación patológica, se recomienda una intervención correctiva, definitiva y segura con inspección periódica cada cuatro años.

Edificio residencial en Recife

Descripción del edificio

La edificación residencial en estudio, localizada en el área de la playa de la región metropolitana de Recife, fue construida en 1986 y nunca pasó por un proceso de mantenimiento. Se pudo constatar que la mayoría de las manifestaciones patológicas tuvieron su agravamiento debido a la falta de mantenimiento, causada por exposición natural y por la agresividad del medio ambiente.

Daños de corrosión en la armadura

Fonseca et al. (2008) observó que, por tratarse de edificaciones en la región del litoral, hay mayor presencia de iones cloruro y, por tanto, elevados niveles de corrosión en la edificación. Se detectaron puntos de corrosión en la armadura en la edificación, conforme ilustra fotografía N°2, ocasionando deterioro del concreto. Como causa de esta manifestación patológica, se puede citar la falta de cobertura mínima que es establecida por la NBR 6118 (2014), facilitando infiltraciones y una posterior corrosión de las armaduras.

Fotografía i" 2. Ausencia de recubrimiento en armadura expuesta presentando corrosión



Fuente: Fonseca et al. (15)

Estructuras de hormigón en zona costera en Recife

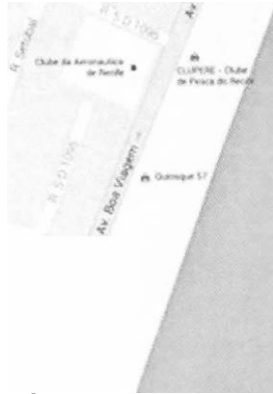
Descripción de la costa urbana

En un estudio realizado por Mota et al. (2009) en la costa urbana ubicada en la avenida Boa Viagem, cerca del club de la Aeronáutica (Recife-PE), fueron examinadas algunas piezas de hormigón armado ubicadas en el paseo peatonal, donde se observó que estas estructuras sufrieron altas agresiones de los cloruros provenientes de las nieblas salinas. La fotografía N°3 muestra dónde se realizó el estudio.

Fotografía N°3. Región en la que se



m. -t.



J
II



creto yadas

Fuente: Adaptado de Mota et al. (3)

Daños procedentes de la corrosión en la armadura

Se observó en el análisis la existencia de corrosión en las siguientes piezas: bancos, postes de iluminación y tabla para ejercicios, entre otros. El estado de conservación de las piezas se presenta en las fotografías N°4, 5, 6 y 7.

Fotografía N°4. Bancos



Fuente: Mota et al. (3)

Fotografía N°5. Poste y barras de ejercicio



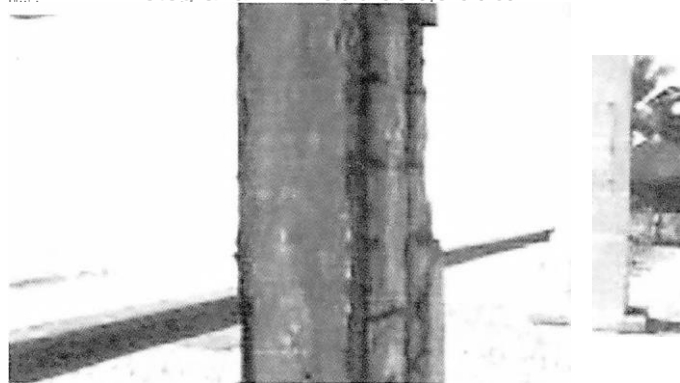
Fuente: Mota et al. (3)

Fotografía N°6. Duchas



Fuente: Mota et al. (3)

Fotografía N°7. Tabla de ejercicios



Fuente: Mota et al. (3)

En el estudio realizado, durante la inspección visual, se observaron varias manifestaciones patológicas como manchas de corrosión, siendo identificadas como rojizas en la región de la armadura, lo que se ocasiona por el deficiente recubrimiento, armaduras expuestas y la aparente pérdida de sección.

Solución adoptada

En lo referente a la carbonatación de las piezas, según Mota et al. (2009) se verificó en la mayoría de los elementos estructurales analizados un índice de alcalinidad satisfactorio, siendo que el deterioro es causado por el ataque de iones cloruro (teniendo en cuenta los porcentajes elevados de cloruro en relación con la masa de cemento, en comparación con el umbral prescrito en la literatura de 0,4 % y/o la media que rigen las normas pertinentes). Por lo tanto, tomando como base este estudio, se puede percibir la importancia que el proyecto estructural contemple respecto a la durabilidad y mantenimiento, pues estas se presentan como las acciones más eficaces y menos onerosas para el desempeño adecuado de los elementos estructurales.

CONCLUSIÓN

La corrosión de armaduras es una manifestación patológica, donde los principales factores que la influyen son la presencia de CO_2 -que reduce el pH y provoca la pérdida de la pasivación de la armadura- y la presencia de los iones cloruro, que disminuye la resistividad del hormigón y ataca la capa protectora del acero. La corrosión puede ser originada por varios factores; entre ellos, la utilización de materiales inadecuados o la mala ejecución en la construcción. Esta es una manifestación patológica

bastante frecuente y responsable de un elevado número de casos de deterioro en estructuras de hormigón armado, las cuales quedan bastante comprometidas, tanto desde el punto de vista estético, como estructural.

Se debe reducir los factores que aceleran el proceso de corrosión desde la etapa de diseño, garantizando un espesor adecuado del recubrimiento del concreto, como también considerar la agresividad del medio donde la estructura está ubicada. Por ejemplo, las regiones costeras son bastante agresivas debido a la presencia de iones cloruro en la atmósfera del lugar.

El costo-beneficio de la obra es también un factor importante para considerar, pues cuando se busca reducir los costos de la ejecución de la obra, se acaba construyendo estructuras con baja calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Helene, P.R.L. (1993). Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 1993. Tesis de libre docencia Brasil: Escota Politécnica da Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo.
- (2) Helene, P.R.L. (1992). Manual Prático para Reparo e Reforce de Estruturas de Concreto. Sao Paulo: Editorial PINI.
- (3) Mota, J.M.F. et al. (2009). Análise das patologias em estruturas de concreto na zona litorânea da cidade do Recife - PE. X Congreso Latinoamericano de Patología y XII Congreso de Calidad en la Construcción. Congreso llevado a cabo en Valparaíso, Chile.
- (4) Galvão, S.P. (2004). Avaliação do desempenho de argamassas de reparo estrutural à base de cimento Portland modificadas por polímeros e contendo adições minerais. Tesis de maestría. Universidade Federal de Goiás, Goiás.
- (5) Selmo, S.M.S. et al. (2000). Caracterização básica das argamassas de reparos para estruturas de concreto industrializadas no Brasil. Encontro Nacional de Conservação e Reabilitação de Estruturas. Congreso llevado a cabo en Lisboa.
- (6) Andrade, J.J.O. (1997). Durabilidade das estruturas de concreto armado: Análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. Tesis de maestría - Universidade Federal de Goiás, Goiás.
- (7) Pontes, R.B. et al. (2007.) Levantamento da concentração de cloretos em zona costeira do Recife-PE. IX Congreso Latinoamericano de Patología. Congreso llevado a cabo en Quito, Ecuador.
- (8) Cascudo, O. (1997). O controle da corrosão de armaduras em concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas. 2da ed. Brasil: Goiana.
- (9) Figueiredo, EP & Meira, G. (2013). Boletim técnico 06- Corrosão das armaduras das estruturas de concreto. México: ALCONPAT.
- (10) Farias, R.F.S. (1992). Corrosão das Armaduras do Concreto: Mecanismos e Controle. Tesis de maestría. Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo.
- (11) Lima, M.G. (1996). Inibidores de corrosão -Avaliação da eficiencia frente à corrosão provocada por cloretos. Tesis de doctorado. Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo.
- (12) Figueiredo, E.J.P. (1994). Avaliação do desempenho de revestimentos para a protecção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas - Contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado. Tesis de doctorado. Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo.
- (13) Freire, K.R.R. (2005). Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto. Tesis de maestría. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- (14) Gomes, E.A.O. (2008). Recuperação estrutural de blocos de fundação afetados pela reação álcali-Agregado - a Experiencia do Recife. Tesis de maestría. Universidade Católica de Pernambuco, Recife.
- (15) Fonseca, T. et al. (2015). Manifestações Patológicas em Edifícios Residenciais na Região Metropolitana do Recife. IV Congreso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração e Edifícios. Congreso llevado a cabo en Rio de Janeiro, Brasil.
- (16) Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2014). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT.

Fuentes de financiamiento: Esta investigación fue financiada con fondos de los autores. **Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2018 Dione Luiza da Silva; Juliana María McCartney da Fonseca; Adegilson José Bento; Joaquin Humberto Aquino Rocha; Eliana Cristina Barreto Monteiro



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento—remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciente o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)