

Repair of Corrosion Related Damage

Q. *During a routine examination of a concrete wall, we found a spall and an exposed reinforcing bar with corrosion. We are now preparing to repair the spall. I am aware that loose concrete must be removed until sound concrete is reached, and the exposed reinforcing bar must be cleaned before the spall can be patched. However, should we continue removing concrete past where it is sound, until we have reached a section of the bar that is not corroded or rusted? Also, can these terms be used interchangeably?*

In my experience with many projects, reinforcing bars inside concrete structures will have evidence of rust, even where the concrete is sound. If that is true in this case, we would have to remove all concrete over the full length of the wall.

A. In short, the extent of repair depends on many factors. This response will attempt to explain why and discuss some considerations that may impact your decisions.

Involvement of a Licensed Design Professional

First, it is important that one or more qualified licensed design professionals (LDPs) experienced in structural and corrosion assessment and repair be engaged to evaluate and address corrosion-related damage in structural concrete. There can be significant implications related to existing load-carrying capacity and structural safety, as well as structural performance and longevity of repairs. The extent of concrete removal may impact structural performance, and in some cases, shoring or other temporary supports may be needed to stabilize the damaged condition or to implement a proper repair.

Secondly, cracking and delamination from reinforcing steel corrosion can result in detached concrete (spalls) that can

present an overhead safety hazard or tripping hazard. Thus, the response offered here is general in nature and assumes that an LDP is engaged and will exercise due diligence in evaluating and addressing the situation. The response also assumes that the question is related to carbonation or chloride-induced corrosion of conventional uncoated reinforcing steel in atmospherically exposed concrete. The presence of prestressing steel, post-tensioned steel, other reinforcing types, chemical exposure, submerged or partially buried conditions, stray current, and other factors can impact appropriate action.

What the Industry Standards and Guide Documents Say

According to ACI CODE-562-21, Section 8.4.1: “The corrosion and deterioration of reinforcement and embedded components shall be considered in the durability design...”¹ Commentary Section R8.4.1 explains: “Untreated reinforcement corrosion limits the life expectancy of repair areas, repair materials, and repaired structures. ICRI No. 310.1R^[2] provides guidelines on removal of damaged concrete and cleaning of reinforcement. Repairs that do not address reinforcement corrosion may negatively impact the design service life and require more intensive monitoring. The structural design considerations for corroding reinforcement on repairs are described in 7.6.3.1.”¹

Section 7.6.3.1 states: “Reinforcement that is damaged or corroded shall be permitted to remain. The effective cross-sectional area of remaining reinforcement shall be permitted to be used in the repair design in accordance with the design-basis code. The effect of corrosion damage on development of steel reinforcement shall be considered. Where original deformations are no longer effective, reinforcing bars shall be considered as smooth bars.”¹ Commentary Section R7.6.3.1 clarifies: “Repair design should consider the in-place condition of the reinforcement, including the effective cross-sectional area of the reinforcing bars. The effective area is calculated using the remaining

Questions in this column were asked by users of ACI documents and have been answered by ACI staff or by a member or members of ACI technical committees. The answers do not represent the official position of an ACI committee. Comments should be sent to lacey.stachel@concrete.org.

effective diameter of the reinforcing bar accounting for the loss of section due to corrosion. Further considerations may also include the location of the corroded areas, loss of confinement, the loss of bond, and the effect of corrosion on member strength.”¹

In addition, ACI SPEC-563-18, Sections 3.3.2.3(a) states: “Extend concrete removal along the reinforcement to a point where there is no further delamination, concrete cracking, or reinforcement corrosion, and where the reinforcement is bonded to the surrounding concrete.”³

Further guidance is provided in ICRI 310.1R-08 and ACI PRC-364.6-22.⁴ ICRI 310.1R-08 states, in part: “...concrete removal should extend along the reinforcing steel until there is no further delamination, cracking, or significant corrosion and the reinforcing steel is well-bonded to the surrounding concrete,” and “The repair area should extend a minimum of 6 in. beyond the actual delaminated concrete.”²

ACI PRC-364.6-22 references ICRI 310.1R but uses

slightly different verbiage. It states, in part: “...concrete removal along the length of reinforcing steel should continue until the bar is free of corrosion products that inhibit bond and no cracks or delaminations are visible, extending a minimum of 6 in. (150 mm) (ICRI 310.1R).”⁴

Thus, ACI CODE-562-21 defers to the durability design but includes insight into the primary considerations. ACI SPEC-563-18, Section 3.3.2.3(a), if implemented without amendment, requires removal of concrete until “a point where there is no further...reinforcement corrosion.”⁵ ACI PRC-364.6-22 defines corrosion of consideration as that which inhibits bond, whereas ICRI 310.1R-08 uses a more general recommendation of extension to include “significant corrosion.”

As shown, these requirements and recommendations vary in verbiage and potential interpretation. It is my opinion that additional extension of the repair area beyond the point where there is no cracking or bond-inhibiting damage plus a nominal

aci Education RESOURCES

FREE Online Education Presentations

Browse from a large selection of recorded presentations from ACI Concrete Conventions and other concrete industry events available for viewing online.

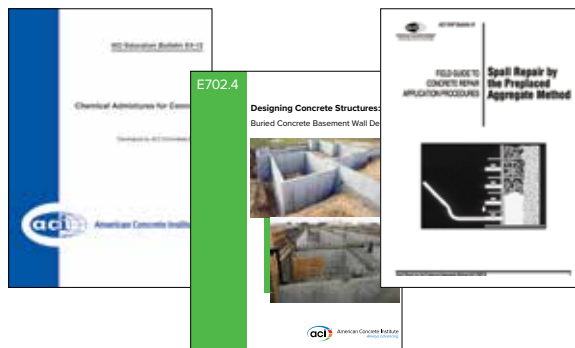
Presentations are also available on ACI's YouTube channel!



FREE Document Downloads

Visit the ACI Store at concrete.org/education and download free documents from ACI's Educational Committees on topics such as:

- Materials
- Design examples
- Repair application procedures



Learn more about other ACI Education resources at ACIUniversity.com

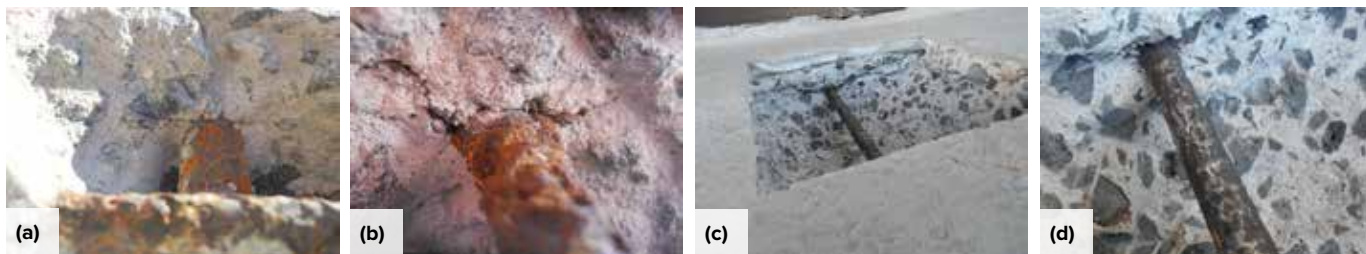


Fig. 1: Examples of corrosion that has induced defective bond, cracking, and delamination in the concrete (a-c); and (d) a close-up of (c) showing pitting corrosion on the bar after corrosion products were partially removed

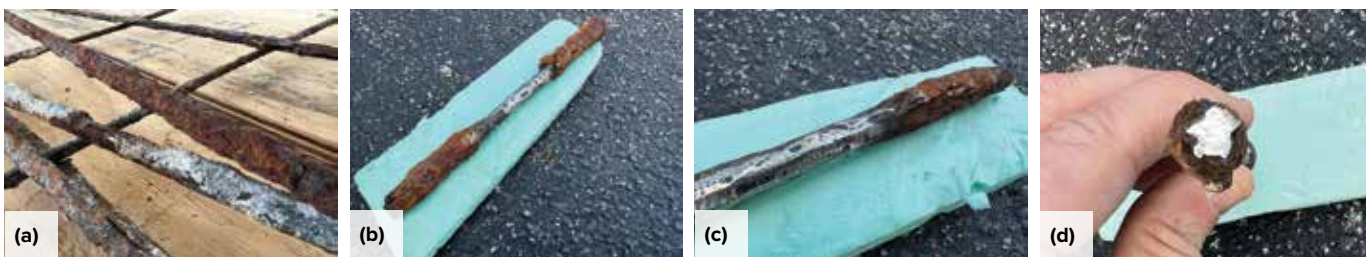


Fig. 2: Examples of: (a) chloride-induced corrosion and associated rust on reinforcing steel bars; (b) bar section with corrosion products (rust) removed from the middle portion with a grinding wheel; (c) different colored expansive corrosion products and pits with corrosion products; and (d) cross section at the end of the bar showing corrosion in the form of significant deterioration and section loss of the bar



Fig. 3: Apparently well-bonded reinforcing steel without significant corrosion

additional amount depends on the nature of corrosion, design needs, and overall durability and service-life expectations. Figure 1 shows examples of concrete damage associated with corrosion.

Corrosion and Rust

In a colloquial sense, the terms corrosion and rust are sometimes used interchangeably; however, they differ. According to the Association for Materials Protection and Performance (AMPP), corrosion is “the deterioration of a material, usually a metal, that results from a chemical or electrochemical reaction with its environment” (<https://www.ampp.org/technical-research/what-is-corrosion/corrosion-terminology-glossary/corrosion-terminology-c>). Reinforcing steel corrosion is due to the electrochemical reaction with

concrete under circumstances that promote corrosion, such as chloride contamination, reduced pH from carbonation, or stray current.

Corrosion products are the reaction products that form as part of the corrosion process. Again, per AMPP, rust is a “corrosion product consisting of various iron oxides and hydrated iron oxides. (This term properly applies only to iron and ferrous alloys.)” (<https://www.ampp.org/technical-research/what-is-corrosion/corrosion-terminology-glossary/corrosion-terminology-r>).

Rust on reinforcing steel can appear in a variety of forms, colors, characteristics, expansive qualities, and implications. It is often observed as the brown/orange/black expansive corrosion product on steel in atmospherically exposed concrete. Figure 2 shows examples of chloride-induced corrosion and rust on reinforcing bars, and Fig. 3 shows an apparently well-bonded reinforcing steel bar embedded in concrete without significant corrosion.

Why Concrete Damages Occur

ACI PRC-222R-19⁶ provides information about conditions that initiate corrosion, the corrosion process, and implications. Reinforcing steel corrosion generally is accompanied by corrosion products that are more voluminous than the original steel. As corrosion progresses, stresses from the expansive corrosion process buildup and results in concrete cracking and delamination. It is important to note that one cannot assume

that sound concrete and seemingly uncorroded steel adjacent to damaged concrete with corroded steel is free of contamination or carbonation and does not require consideration to remain intact and durable.

What Could Impact Perception of Conditions Adjacent to Damaged Concrete

Characteristics and significance of concrete and reinforcing steel corrosion adjacent to areas of observed concrete damage can vary. Some conditions that may impact the significance of adjacent corrosion include:

- Where observed damage is a result of chloride contamination or carbonation, corrosive conditions may, and often do, extend to areas beyond those with observed concrete distress. Regardless of concrete damage or severity of corrosion products observed at the time of repair, corrosive conditions may promote corrosion adjacent to the already damaged area after repairs are made. If conditions are favorable for corrosion, additional concrete damage is likely to develop. Chloride contamination, depth of carbonation, depth of steel, concrete quality, moisture, and current corrosion activity are among the factors that will impact the durability of areas adjacent to the current repair. It should be noted that even if conditions are not critical at the time of repair, continued exposure after repair could lead to additional corrosion within a timeframe that is undesirable;
- The time between corrosion initiation and development of detrimental cracking and damage can vary from less than a year to more than 10 years depending on a variety of factors, including exposure, nature of corrosion initiation, steel characteristics and depth, confinement, and concrete characteristics. Bond strength between corroded reinforcing steel and concrete reduces significantly once cracking occurs, but may be equal or sometimes better than that with uncorroded steel prior to cracking.^{7,8} Thus, while only a small amount of corrosion (on the order of a few thousandths of an inch or less corresponding to a few percent of the cross section or less) generally is needed to cause concrete damage,⁹ ongoing corrosion may already be occurring in sound concrete. Without other measures, though, that corrosion can progress and lead to cracking, disbondment, and delamination in the future; and
- Minor, tightly adhered surface corrosion from reinforcing steel bars originally cast in concrete in that condition generally is not problematic in otherwise sound, undamaged, uncontaminated, and uncarbonated concrete, provided that the bars are well-bonded, well-embedded, and were in good condition when installed.

How to Determine Appropriate Actions

Exploratory excavations, electrochemical measurements, and testing to determine contamination, carbonation, and concrete characteristics can be implemented to evaluate the nature of the corrosion, conditions outside the repair area, and appropriate measures for correction. ACI PRC-222R-19, ACI PRC-364.1-19,¹⁰ and NACE SP0308¹¹ provide guidance on corrosion evaluation, while ACI PRC-364.10-14¹² provides guidance on evaluating the impact of reinforcing steel section loss. ACI PRC-546-23,¹³ ACI PRC-364.6-22, ICRI 310.1R-08, and ACI PRC-222R-19 provide recommendations associated with repair, and ACI CODE-562-21 provides code provisions associated with corrosion-related repairs.

Some examples where extending the repair area beyond the area of damaged concrete and bond-inhibiting corrosion (plus 6 in.) may be considered include:

- Addressing splicing needs;
- Addressing inadequate cover issues or confinement issues;
- Addressing development length or section loss issues;
- Optimizing repair geometry for minimizing re-entrant corners;
- Strategically locating extents for stress minimization or other structural reasons;
- Maximizing installation efficiency;
- Minimizing potential issues with mismatched or nearby joints;
- Addressing ongoing corrosion or future potential corrosive conditions adjacent to the repair area (discussed below);
- Addressing other conditions consistent with the design; and
- Complying with the strict interpretation of project specifications or reference standards.

Performance of the Repair and Future Corrosion

As indicated above, several factors may impact future corrosion performance of reinforcing bars embedded in concrete adjacent to distressed areas. One concern is that without removing contaminated or carbonated concrete or providing another intentional corrosion control method, damage can occur prematurely and even be hastened outside the repair area once the repair is implemented (Fig. 4). This is due to both the inherent tendency for corrosion to occur if critical chloride levels or carbonation are already at the steel level, as well as the changes that take place when the repair is complete. Prior to repair, the damaged area is corroding relative to the adjacent areas and, in a sense, provides protection to these adjacent areas, that do not show signs of substantial corrosion. Once repairs are conducted, steel in the repair area will be passivated as it will be in new repair



Fig. 4: Examples of corrosion-related distress adjacent to repair areas

material. Thus, even where there is not significant corrosion in the area adjacent to the damage area before the repair is made, corrosion in adjacent areas can occur and be hastened after the repair if conditions are conducive. This creates a risk of concrete cracking, delamination, and spalling outside the repair area if the steel is not protected or the contaminated concrete is not removed. This condition is sometimes referred to as the halo effect, incipient anode effect, or anodic ring effect and can lead to significant premature distress outside the patch area.

Strategies that can be evaluated singularly or in combination for mitigating future corrosion outside the repair area include removal of contaminated or carbonated concrete, electrochemical treatments (such as cathodic protection), and certain surface treatments. Systems should be evaluated on a situation-by-situation basis and include consideration of service-life extension expectations. Further discussion is provided, for instance, in ACI PRC-222-19, ACI PRC-364.6-22, ACI PRC-546-2023, ACI RAP No. 8,¹⁴ NACE SP0290-2019,¹⁵ NACE SP0216-2023,¹⁶ and NACE SP0390-2019.¹⁷

References

1. ACI Committee 562, "Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures—Code and Commentary (ACI CODE-562-21)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 83 pp.
2. ICRI No. 310.1R-08, "Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion," International Concrete Repair Institute, Minneapolis, MN, 2008, 16 pp.
3. ACI Committee 563, "Specifications for Repair of Concrete in Buildings (ACI SPEC-563-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 40 pp.
4. ACI Committee 364, "Concrete Removal in Repairs Involving Corroded Reinforcing Steel—TechNote (ACI PRC-364.6-22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2022, 3 pp.
5. ACI Committee 563, "Specifications for Repair of Concrete in Buildings (ACI SPEC-563-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 40 pp.
6. ACI Committee 222, "Guide to Protection of Metals in Concrete Against Corrosion (ACI PRC-222-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 60 pp.
7. Syll, A.S., and Kanakubo, T., "Impact of Corrosion on the Bond Strength between Concrete and Rebar: A Systematic Review," *Materials*, V. 15, No. 19, Oct. 2022, 21 pp.
8. Apostolopoulos, C., and Koulouris, K., "Corrosion Effects on Durability of RC Structures," *Metals*, V. 11, No. 11, Nov. 2021, 2 pp.
9. Xu, A., and Shayan, A., "Relationship between Reinforcing Bar Corrosion and Concrete Cracking," *ACI Materials Journal*, V. 113, No. 1, Jan.-Feb. 2016, pp. 3-12.
10. ACI Committee 364, "Guide for Assessment of Concrete Structures Before Rehabilitation (ACI PRC-364.1-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 20 pp.
11. NACE SP0308-2018, "Inspection Methods for Corrosion Evaluation of Conventionally Reinforced Concrete Structures," Association for Materials Protection and Performance, 2018.
12. ACI Committee 364, "Rehabilitation of Structure with Reinforcement Section Loss—TechNote (ACI PRC-364.10-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 4 pp.
13. ACI Committee 546, "Concrete Repair—Guide (ACI PRC-546-23)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023, 59 pp.
14. ACI Committee E706, "Field Guide to Concrete Repair Application Procedures: Installation of Embedded Galvanic Anodes (ACI RAP Bulletin 8-22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023, 8 pp.
15. NACE SP0290-2019, "Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures," Association for Materials Protection and Performance, 2019.
16. NACE SP0216-2023, "Galvanic Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures," Association for Materials Protection and Performance, 2023.
17. NACE SP0390-2019, "Maintenance and Rehabilitation Considerations for Corrosion Control of Atmospherically Exposed Existing Steel-Reinforced Concrete Structures," Association for Materials Protection and Performance, 2019.

Thanks to David G. Tepke, SKA Consulting Engineers, Inc., Mount Pleasant, SC, USA, for providing the answer to this question.

Reparación de Daños Relacionados con la Corrosión

P. *Durante un examen de rutina de un muro de concreto, encontramos un descascarillado y una barra de refuerzo expuesta con corrosión. Ahora mismo nos estamos preparando para reparar el descascarillado. Estoy consciente que debemos retirar el concreto suelto hasta llegar al concreto sólido y que debemos limpiar la barra de refuerzo expuesta antes de parchar el descascarillado. No obstante, ¿tenemos que continuar retirando el concreto más allá del punto en el que el concreto esté sólido y hasta que hayamos llegado a una sección de la barra que no tenga corrosión o que no esté oxidada? Asimismo, ¿pueden estos términos utilizarse de manera indistinta?*

En mi experiencia con muchos proyectos, las barras de refuerzo dentro de las estructuras de concreto tendrán evidencia de óxido, incluso cuando el concreto sea sólido. De ser así en este caso, tendríamos que retirar todo el concreto a todo lo largo del muro.

R. En síntesis, el grado de la reparación depende de muchos factores. Esta respuesta intentará explicar por qué y abordaremos algunas consideraciones que pueden influir en sus decisiones.

Participación de un Licenciado en Diseño

Primero, es importante que participen uno o más licenciados en diseño calificados (LDPs [por sus iniciales en inglés]) con experiencia en valoración y reparación estructural y de corrosión, para que evalúen y atiendan el daño relacionado con la corrosión en el concreto estructural. Puede haber repercusiones importantes relacionadas con la capacidad existente de carga y con la seguridad y comportamiento estructural, así como con la durabilidad de las reparaciones. El alcance de la remoción del concreto puede impactar el comportamiento estructural y en algunos casos,

es posible que se necesiten apuntalamiento u otros soportes temporales para dar estabilidad en la condición de daño actual o para poner en marcha una reparación apropiada.

En segundo lugar, el agrietamiento y desprendimiento provocados por la corrosión del acero de refuerzo pueden dar por resultado concreto desprendido (descascarillado) que puede presentar un riesgo de seguridad por elementos colocados en alturas o por peligro de tropiezos. Por tanto, la respuesta aquí ofrecida es de naturaleza general y supone que se contratará a un LDP que ejercerá debida diligencia en la evaluación y solución de la situación. La respuesta también supone que la pregunta se relaciona con la carbonatación o corrosión inducida por cloruro del acero de refuerzo sin recubrimiento en concreto expuesto a la atmósfera. La presencia de acero pretensado, acero postensado, otros tipos de refuerzo, exposición química, condiciones de inmersión o parcialmente enterradas, corrientes parásitas y otros factores pueden afectar la acción apropiada.

Qué Dicen las Normas de la Industria y los Documentos Guía

De acuerdo con ACI CODE-562-21, Sección 8.4.1: “La corrosión y el deterioro del refuerzo y de los componentes embebidos deberán tomarse en consideración en el diseño de la durabilidad...”¹ El Comentario de la Sección R8.4.1 explica: “La corrosión del refuerzo sin intervención limita la expectativa de vida de áreas reparadas, materiales de reparación y estructuras reparadas. ICRI No. 310.1R^[2] proporciona lineamientos sobre la remoción de concreto dañado y limpieza del refuerzo. Las reparaciones que no resuelven la corrosión del refuerzo pueden afectar de manera negativa la vida de servicio del diseño y requerir monitoreo más intensivo. Los aspectos de diseño estructural para acero de refuerzo con corrosión en las reparaciones, se describe en 7.6.3.1.”¹

La Sección 7.6.3.1 estipula: “El acero de refuerzo que esté afectado o con corrosión puede mantenerse. El área transversal efectiva restante se podrá utilizar en el diseño de reparación, de conformidad con el código base del diseño. Debe tomarse en consideración el efecto del daño por corrosión en el desempeño del acero de refuerzo. Cuando las deformaciones originales ya no sean efectivas, las barras de refuerzo se considerarán como barras lisas”¹

El Comentario de la Sección R7.6.3.1 aclara: “El diseño de reparación tomará en cuenta la condición in situ del acero de refuerzo, incluyendo el área transversal efectiva de las barras. El área efectiva se calcula utilizando el diámetro efectivo restante de las barras de refuerzo, considerando la pérdida de sección

debido a la corrosión. Consideraciones adicionales también pueden incluir la ubicación de las áreas con corrosión, la pérdida de confinamiento, la pérdida de adherencia y el efecto de la corrosión en la resistencia del elemento”.¹

Adicionalmente, ACI SPEC-563-18, Secciones 3.3.2.3(a) menciona: “Extienda la remoción del concreto a lo largo del refuerzo hasta un punto en el que ya no haya desprendimiento, agrietamiento del concreto o corrosión del refuerzo y en el que el refuerzo esté adherido al concreto circundante”.³

Se proporciona una guía adicional en ICRI 310.1R-08 y ACI PRC-364.6-22.⁴ ICRI 310.1R-08 indica, en parte: “... la remoción del concreto deberá extenderse a lo largo del acero de refuerzo hasta que no haya desprendimiento, agrietamiento ni corrosión significativa y hasta que el acero de refuerzo se adhiera bien al concreto adyacente”, y “El área de reparación deberá extenderse por lo menos 6 pulgadas (150 mm) más allá de la interfaz del concreto desprendido”.²

ACI PRC-364.6-22 hace referencia a ICRI 310.1R pero utiliza una redacción ligeramente diferente. Expone, en parte: “... deberá continuar la remoción del concreto a lo largo de toda la longitud del acero de refuerzo hasta que la barra esté libre de productos de corrosión que impidan la adherencia y hasta que no haya grietas ni desprendimientos visibles, extendiéndose a un mínimo de 6 pulgadas (150 mm) (ICRI 310.1R)”.⁴

Por lo tanto, ACI CODE-562-21 difiere en cuanto al diseño de durabilidad pero incluye información sobre las consideraciones primarias. Si ACI SPEC-563-18, Sección 3.3.2.3(a), se aplica sin modificación, requiere la remoción del concreto hasta un punto en el que ya no haya ... corrosión en el refuerzo”.⁵ ACI PRC-364.6-22 define esta corrosión como aquella que impide la adhesión, en tanto que ICRI 310.1R-08 utiliza una recomendación más general de extensión para incluir “corrosión importante”.

Tal como se muestra, estos requerimientos y recomendaciones varían en cuanto a su redacción e interpretación potencial. En mi opinión, esa extensión adicional del área de reparación más allá del punto en el que ya no haya agrietamiento ni daño por impedimento de adherencia, más una cantidad adicional nominal depende de la naturaleza de la corrosión, de las necesidades del diseño, de la durabilidad total y expectativas de vida de servicio de la estructura. La Figura 1 muestra ejemplos de daño al concreto relacionadas con la corrosión.

Corrosión y Óxido

En un sentido coloquial, en ocasiones los términos corrosión y óxido se utilizan de manera indistinta, no obstante, difieren. De acuerdo con la Asociación para la Protección y Comportamiento de Materiales (AMPP [por sus iniciales en inglés], la corrosión es “el deterioro de un material, por lo general un metal, que se origina por una reacción química o electroquímica con su ambiente” (<https://www.ampp.org/technical-research/what-is-corrosion/corrosion-terminology-glossary/corrosion-terminology-c>). La corrosión del acero de refuerzo se debe a la reacción electroquímica con el concreto bajo circunstancias que promueven la corrosión, tales como contaminación por cloruro, pH reducido por carbonatación o corrientes parásitas.

Los productos de corrosión son los productos de la reacción que se forman como parte del proceso de corrosión. Se reitera, de conformidad con AMPP, el óxido es un “producto de la corrosión que consiste en diversos óxidos de hierro y óxidos de hierro hidratados. “Este término aplica apropiadamente sólo al hierro y aleaciones ferrosas.” (<https://www.ampp.org/technical-research/what-is-corrosion/corrosion-terminology-glossary/corrosion-terminology-r>).

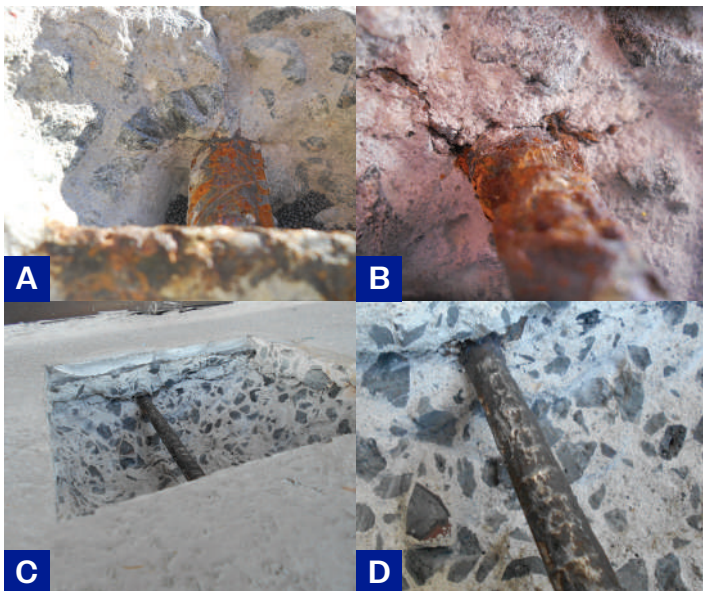


Fig. 1: Ejemplo de corrosión que ha inducido adhesión defectuosa, agrietamiento y desprendimiento del concreto (a-c); y (d) un acercamiento de (c) muestra corrosión por picaduras en la barra después de haber retirado parcialmente los productos de corrosión.

El óxido en el acero de refuerzo puede aparecer en varias formas, colores, características, tipologías expansivas y puede tener distintos efectos. A menudo se observa en concreto atmosféricamente expuesto, un producto de corrosión expansivo y de color café/anaranjado/negro en el acero. La Figura 2 muestra ejemplos de corrosión inducida por cloruro y óxido en barras de refuerzo y la Figura 3 muestra una barra de acero de refuerzo con aparente buena adhesión empotrada en concreto sin corrosión significativa.



Fig. 2: Ejemplos de: (a) corrosión inducida por cloruro y óxido en barras de acero de refuerzo; (b) sección de la barra con productos de corrosión (óxido) retirados de la porción media con una rueda de esmerilado; (c) diferentes productos de corrosión expansivo con color y picaduras con productos de corrosión; y (d) sección transversal al final de barra que muestra corrosión en forma de deterioro significativo y pérdida de sección de la barra.



Fig. 3: Acero de refuerzo con buena adhesión aparente sin corrosión significativa.

Por Qué Ocurren Daños en el Concreto

ACI PRC-222R-19⁶ proporciona información sobre condiciones que inician la corrosión, el proceso de la corrosión y sus consecuencias. Por lo general, la corrosión del acero de refuerzo va acompañada de productos de corrosión que son más voluminosos que el acero original. A medida que avanza la corrosión, los esfuerzos provocados por el proceso de corrosión expansiva se acumulan y dan por resultado agrietamiento y desprendimiento del concreto. Es importante observar que no se puede asumir que el concreto sólido y el acero sin corrosión aparente adyacente al concreto dañado esté libre de contaminación o carbonatación y no requiere atención para quedar en buen estado y para que sea durable.

Qué Podría Afectar la Percepción de las Condiciones Contiguas al Concreto Dañado

Las características e importancia del concreto y corrosión del acero de refuerzo adyacente a áreas observadas de concreto dañado pueden variar. Algunas condiciones que pueden afectar la relevancia de la corrosión adyacente incluyen las siguientes:

- Cuando el daño observado es resultado de contaminación por cloruro o carbonatación, las condiciones de corrosión pueden extenderse a áreas más allá de aquellas que presentan deterioro del concreto y esto sucede con frecuencia. Independientemente del daño al concreto o de la criticidad de los productos de corrosión observados en el momento de la reparación, las condiciones existentes pueden propiciar la corrosión adyacente al área ya dañada después de realizar las reparaciones. Si las condiciones son favorables para la corrosión, es probable que se desarrolle daño adicional al concreto. La contaminación por cloruro, la profundidad de la carbonatación, la profundidad del acero, la calidad del concreto, la humedad y la condición de corrosión existente son entre otros, los factores que impactarán la durabilidad de las áreas contiguas a la reparación actual. Deberá observarse que incluso cuando las condiciones no sean críticas en el momento de la reparación, la exposición continua después de la reparación puede conducir a corrosión adicional dentro de un período de tiempo, lo que es indeseado;

- El tiempo entre el inicio de la corrosión y el desarrollo de las grietas perjudiciales y el daño puede variar de menos de un año a más de 10 años dependiendo de diversos factores, incluyendo exposición, naturaleza del inicio de la corrosión, características y profundidad del acero, confinamiento y características del concreto. La adhesión entre el acero de refuerzo con corrosión y el concreto se reduce de manera importante una vez que ocurre el agrietamiento, pero puede ser igual o algunas veces mejor que el del acero sin corrosión antes del agrietamiento.^{7,8} Por tanto, si bien de manera general sólo es necesaria una pequeña cantidad de corrosión (del orden de unas cuantas milésimas de una pulgada o menos que corresponde a un pequeño porcentaje de la sección transversal o menos), para provocar daño al concreto,⁹ es posible que ya esté ocurriendo corrosión persistente en el concreto sólido. No obstante, si no se toman otras medidas, en el futuro esa corrosión puede avanzar y provocar agrietamiento, desprendimiento y delaminación; y
- La corrosión menor que se encuentre firmemente adherida a la superficie y que haya sido provocada por barras de acero de refuerzo originalmente coladas en el concreto en esa condición, por regla general no es problemática cuando el concreto sea sólido, no esté dañado, no contaminado y no carbonatado, siempre y cuando las barras estén bien adheridas, bien empotradas y en buenas condiciones en el momento de la instalación.
- Atender necesidades de empalme;
- Atender problemas de cobertura inadecuada o cuestiones de confinamiento;
- Atender problemas de longitud de desarrollo o pérdida de sección;
- Optimizar la geometría de la reparación para minimizar esquinas entrantes;
- Colocar estratégicamente traslapes para minimizar el esfuerzo o por otras razones estructurales;
- Maximizar la eficiencia de la instalación;
- Minimizar problemas potenciales con juntas no coincidentes o cercanas;
- Resolver la corrosión persistente o condiciones de corrosión potenciales en el futuro adyacentes al área de reparación (tema que se aborda a continuación);
- Solucionar otras condiciones acordes con el diseño; y
- Cumplir con la estricta interpretación de las especificaciones del proyecto o con las normas de referencia.

Desempeño de la Reparación y Corrosión Futura

Tal como se indica anteriormente, hay diversos factores que pueden afectar el desempeño futuro de la corrosión de barras de refuerzo embebidas en concreto adyacente a las áreas deterioradas. Una preocupación es que si no se retira el concreto contaminado o carbonatado o si no se aplica otro método de control intencional de corrosión, puede ocurrir daño prematuro e incluso acelerarse fuera del área de reparación, una vez que se ponga en marcha la reparación (Fig. 4). Esto se debe tanto a la tendencia inherente de que ocurra corrosión si los niveles críticos de cloruro o carbonatación ya están a nivel del acero, así como a cambios que tienen lugar cuando se termina la reparación. Antes de la reparación, el área dañada se corroe en relación a las áreas adyacentes y en cierto modo, proporciona protección a estas áreas adyacentes que no muestran signos de corrosión substancial. Una vez que se llevan a cabo las reparaciones, el acero del área de reparación será menos reactivo ya que estará en material nuevo de reparación. Por tanto, incluso cuando no haya corrosión importante en el área adyacente a la zona dañada antes de realizar la reparación, puede ocurrir corrosión en áreas adyacentes y puede acelerarse después de la reparación si las condiciones son propicias. Esto crea un riesgo de agrietamiento, delaminación y descascarillado del concreto fuera del área de reparación si no se protege el acero o si no se retira el concreto contaminado. En ocasiones nos referimos a esta condición como el efecto de halo,

Cómo Determinar las Acciones Apropriadas

Pueden ponerse en práctica exploraciones en sitio, mediciones electroquímicas y pruebas para determinar la contaminación, carbonatación y características del concreto, con el propósito de evaluar la naturaleza de la corrosión, las condiciones fuera del área de reparación y las medidas apropiadas para la reparación. ACI PRC-222R-19, ACI PRC-364.1-19,¹⁰ y NACE SP0308¹¹ proporcionan una guía sobre la evaluación de la corrosión, en tanto que ACI PRC-364.10-14¹² brinda una guía para evaluar el impacto de la pérdida de sección del acero de refuerzo. ACI PRC-546-23,¹³ ACI PRC-364.6-22, ICRI 310.1R-08 y ACI PRC-222R-19 ofrecen recomendaciones relacionadas con la reparación y ACI CODE-562-21 facilita disposiciones de códigos asociados a reparaciones relacionadas con la corrosión.

Algunos ejemplos en los que puede considerarse extender el área de reparación más allá del área del concreto dañado y considerar la corrosión que impide la adhesión (más 6 pulgadas) incluyen:

efecto anódico incipiente o efecto de anillo anódico y puede ocasionar deterioro prematuro importante fuera del área del parche o reparación.

Las estrategias que pueden evaluarse de forma individual o en combinación para mitigar corrosión futura fuera del área de reparación incluyen retiro del concreto contaminado o carbonatado, tratamientos electroquímicos (tales como protección catódica) y algunos tratamientos superficiales. Los sistemas deben evaluarse sobre una base de cada situación y deben incluir consideración de las expectativas de extensión de la vida de servicio. Se proporciona más información, por ejemplo, en ACI PRC-222-19, ACI PRC-364.6-22, ACI PRC-546-2023, ACI RAP No. ^{8,14} NACE SPO290-2019,¹⁵ NACE SPO216-2023,¹⁶ y NACE SPO390-2019.¹⁷

Referencias

1. ACI Comité 562, "Assessment, Repair and Rehabilitation of Existing Concrete Structures – Code and Comment (ACI CODE-562-21)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI 2021, 83 pp.
2. ICRI No. 310.IR-08, "Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion," International Concrete Repair Institute, Minneapolis, MN. 2008, 16 pp.
3. ACI Committee 563, "Specifications for Repair of Concrete in Buildings (ACI SPEC-563-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 40 pp.
4. ACI Committee 364, "Concrete Removal in Repairs Involving Corroded Reinforcing Steel – TechNote (ACI PRC-364.6-22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2022, 3 pp.
5. ACI Committee 563, "Specifications for Repair of Concrete in Buildings (ACI SPEC-563-18)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2018, 40 pp.
6. ACI Committee 222, "Guide to Protection of Metals in Concrete Against Corrosion (ACI PRC-222-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 60 pp.
7. Syll, A.S., and Kanakubo, T., "Impact of Corrosion on the Bond Strength between Concrete and Rebar: A Systematic Review," Materials, V.15, No. 19, Oct. 2022, 21 pp.
8. Apostolopoulos, C., and Koulouris, K., "Corrosion Effects on Durability of RC Structures," Metals, V. 11, No. 11, Nov. 2021, 2 pp.
9. Xu, A., and Shayan, A., "Relationship between Reinforcing Bar Corrosion and Concrete Cracking," ACI Materials Journal, V. 113, No. 1, Jan.-Feb. 2016, pp. 3-12.
10. ACI Committee 364, "Guide for Assessment of Concrete Structures Before Rehabilitation (ACI PRC-364.1-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 20 pp.
11. NACE SPO308-2018, "Inspection Methods for Corrosion Evaluation of Conventionally Reinforced Concrete Structures," Association for Materials Protection and Performance, 2018.
12. ACI Committee 364, "Rehabilitation of Structure with Reinforcement Section Loss - TechNote (ACI PRC-364.10-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 4 pp.
13. ACI Committee 546, "Concrete Repair - Guide (ACI PRC-546-23)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023, 59 pp.
14. ACI Committee E706, "Field Guide to Concrete Repair Application Procedures: Installation of Embedded Galvanic Anodes (ACI RAP Bulletin 8-22)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023, 8 pp.
15. NACE SPO290-2019, "Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures," Association for Materials Protection and Performance, 2019.
16. NACE SPO216-2023, "Galvanic Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures," Association for Materials Protection and Performance, 2023.



Fig. 4: Ejemplos de deterioro relacionado con la corrosión adyacente a las áreas de reparación.

17. NACE SP0390-2019, "Maintenance and Rehabilitation Considerations for Corrosion Control of Atmospherically Exposed Existing Steel-Reinforced Concrete Structures," Association for Materials Protection and Performance, 2019.

Agradecimiento a David G. Tepke, SKA Consulting Engineers, Inc., Mount Pleasant, SC. USA, por ofrecer la respuesta a esta pregunta.

Las preguntas de esta columna fueron formuladas por usuarios de los documentos del ACI y han sido respondidas por el personal del ACI o por un miembro o miembros de los comités técnicos del ACI. Las respuestas no representan la posición oficial de un comité del ACI. Los comentarios deben enviarse a keith.tosolt@concrete.org.

Título original en inglés:
**Concrete Q&A.
Repair of Corrosion
Related Damage**

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo México
Centro y Sur**



Traductora:
**Lic. Ana Patricia
García Medina**



Revisora Técnica:
**Ing. Karla Elizabeth
De la Fuente
Monforte**