

Evolution of ACI CODE-562-25

Chapter 8: Reinforcement and detailing for structural evaluation, repair, and rehabilitation

by Lisa R. Feldman

Existing Concrete Structures—Learning Lessons and Advancing Solutions

ACI Committee 562, Evaluation, Repair and Rehabilitation of Concrete Structures, strives to advance the practice of engineering and improve the repair and rehabilitation of existing concrete structures. The Committee is dedicated to helping engineers, building officials, contractors, owners, inspectors, and others by conveying information in more detail than is possible solely through ACI CODE-562. To this end, and in the hope of improving committee documents, members of the Committee are offering a series of articles under the main theme, “Existing Concrete Structures—Learning Lessons and Advancing Solutions.”

Through this series, the Committee members hope to explain the rationale behind some of the changes in ACI CODE-562 as well as share example problems, ideas, concepts, and thoughts discussed in the ACI Committee 562 meetings. It is also hoped that the series will help the Committee address questions from the engineering and construction sectors, solicit answers to problems, and review areas of needed research and future code development.

Each article will address a topic related to the evaluation, repair, or rehabilitation of existing concrete structures. Topics will be selected with the intention of increasing awareness, improving understanding, and expanding perspectives related to this important subject matter.

In January 2025, ACI CODE-562-25: Assessment, Repair, and Rehabilitation of Concrete Structures—Code and Commentary,¹ became available on the ACI PLUS platform and is now available in printed and PDF formats. The main objective of the 2025 code cycle was to populate this Code with technical information and resulted, in part, in the creation of a new Chapter 8, titled “Reinforcement Details and Condition for Structural Evaluation and Repair Design.” While by no means comprehensive at this stage, Chapter 8 currently includes definitions and types of historical steel reinforcing bars, development and splice lengths for structural evaluation and repair design, and repair design considerations for corroded mild steel and prestressed reinforcement. This article provides background information on some of the more novel aspects currently included and probable new directions for this chapter in the next edition of the Code scheduled to be published in 2031.

Historical Reinforcing Bars

Modern reinforced concrete construction was introduced in the United States in the 1880s. At that time, steel reinforcing

bars were proprietary, and so, as shown in Fig. 1, each mill was required to produce them with unique geometries. Bars had a variety of cross-sectional shapes, including round (Fig. 1(d) and (e)), square (Fig. 1(b) and (c)), diamond (Fig. 1(a)), and elliptical (Fig. 1(f)). They included distinct lugs (Fig. 1(a)), raised deformations (Fig. 1(c) and (e)), threads (Fig. 1(d)), indentations (not shown), perforations (not shown), and other indescribable deformations (Fig. 1(f)) created, in this case, by flattening the bar at short intervals to enhance its bond with the surrounding concrete. Ernest Ransome³ patented a process to plastically twist plain square bars about their longitudinal axis (Fig. 1(b)) to effectively build deformations into these bars. Plain bars (in other words, bars with no deformations whatsoever) were also permitted up to and including the 1963 edition of ACI 318.⁴ None of these bars satisfy the requirements specified in ASTM A615/A615M⁵ or ASTM A706/A706M⁶ for deformed bars.

Figure 2 shows that force transfer (otherwise known as bond) mechanisms with concrete vary based upon bar geometry. In each case shown, a length of reinforcing bar of a particular geometry is embedded concentrically in a concrete

cylinder. Tension is applied to pull the bar out of the surrounding concrete and the bottom surface of the concrete cylinder typically bore against the testing apparatus. Three mechanisms of bond resist the pullout of a deformed bar that conforms to either of the current ASTM International standards^{5,6} as shown in Fig. 2(a): 1) adhesion between the bar and the surrounding concrete before the bar starts to slip; 2) sliding friction between the bar and particles that break free from the concrete interface following loss of adhesion; and 3) mechanical interlock of the deformations as they bear against the surrounding concrete with bar slip.

The magnitude and orientation of the bearing forces is dependent upon the geometry of the bar deformations as defined by their spacing, height, and surface angles. For example, Fig. 2(b) shows that a twisted square bar includes the same three mechanisms of bond as a typical deformed bar, but that the mechanical interlock forces change orientation with the angle of the bar surface along its length. In contrast, a plain bar (Fig. 2(c)) is only able to resist bond through adhesion and sliding friction, given that it doesn't feature deformations that bear against the surrounding concrete. Plain bars are therefore less effective in bond than typical deformed bars^{2,7} and require longer development and lap splice lengths. Twisted square bars perform better in bond than plain bars but are generally not as effective as typical deformed bars.⁸

All of these historical bar types were used in reinforced concrete structures in Canada and the United States until about the mid-1950s, and such structures are still in service. Some examples include the Centre Street Bridge in Calgary, AB, Canada⁹; the Hillhurst Louise Bridge in Calgary¹⁰; and the admittedly convenient example of the Peter McKinnon Building located on the University of Saskatchewan campus in Saskatoon, SK, Canada (Fig. 3). Some of these structures have historical designations, and so their preservation is essential. Any repair therefore requires the ability to assess the capacity of structural elements reinforced with these historical bar types. The 1963 edition of ACI CODE-318 was the last to include provisions for the bond stress of plain bars, and no provisions have ever been included in past editions of ACI CODE-318 for twisted square bars. This leaves rehabilitation engineers with the difficult task of properly assessing development and splice lengths of these bars and quantifying the capacity of the structural members that they have been used to reinforce.

Evolution of ACI CODE-562 Requirements for Splicing and Development of Reinforcing Bars

ACI CODE-562 has always provided means of assessing the development and lap splice lengths of historical

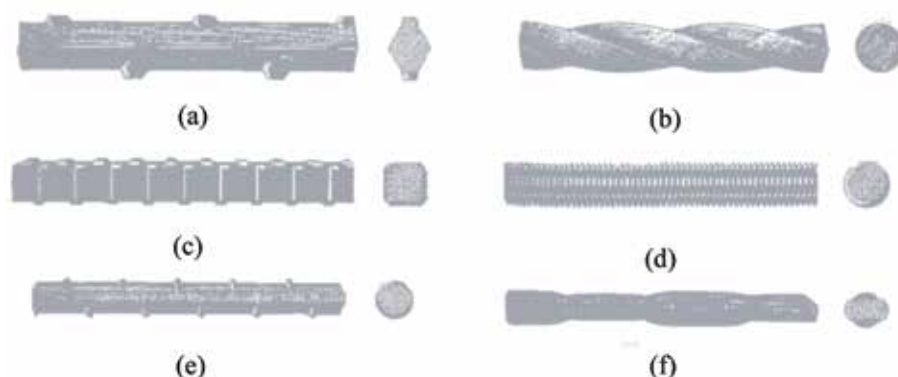


Fig. 1: Historical steel reinforcing bars: (a) straight lug bar; (b) twisted square bar; (c) corrugated square bar; (d) threaded round bar; (e) corrugated round bar; and (f) Thatcher bulb bar (after Abrams²)

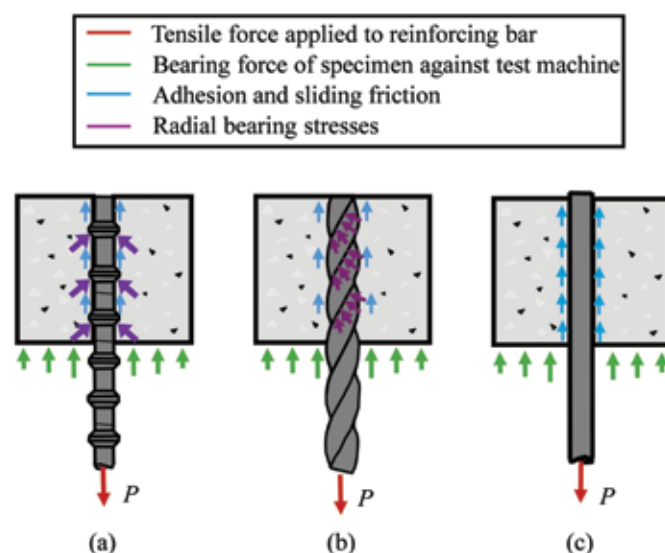


Fig. 2: Bond forces along reinforcing bars: (a) deformed bar; (b) twisted square bar; and (c) plain bar

reinforcing bar types. Section 6.1.2 in ACI CODE-562-13 stated that: “A structural evaluation shall be performed if, during the preliminary evaluation..., it is determined that an existing member, portions of a structure, or entire structure exhibit signs of deterioration, structural deficiency, or behavior that is inconsistent with available design and construction documents or code requirements in effect at the time of construction.”¹¹ This same requirement was included in ACI CODE-562-16.¹² When applied to the detailing of reinforcement, development and lap splicing is deemed adequate if lengths conform to those shown on available design drawings and to the code requirements that governed the design phase of the project.

Challenges were identified with the approach provided in these early editions of ACI CODE-562. The original project construction dates are generally not known with certainty.



Fig. 3: Peter McKinnon Building on the University of Saskatchewan campus: (a) overview; and (b) inspection port showing twisted square bar reinforcing the main floor slab (photos courtesy of L.R. Feldman)

The period of structural design work is even more difficult to establish and may extend between successive code editions. It may therefore be difficult to assess which code edition would have been followed for a project with provisions for the bond of reinforcing steel known to vary widely between successive historical ACI CODE-318 editions.¹³ Historical editions did not address all reinforcing bar geometries, and the working stress design provisions that were used as a basis for design in ACI CODE-318, up to and including the 1963 code edition, specified permissible average bond stresses rather than development and lap splice lengths. Bond stresses are known to be very non-uniform along bar length^{2,14,15} and converting them to appropriate development and lap splice lengths is not readily accomplished.

In 2017, Feldman and Cairns¹³ published the results of a study that assessed the structural safety of historical ACI CODE-318 code predictions for permissible bond stresses. Code predictions were compared to the results of lap splice and beam-end specimens reinforced with either plain round or square bars cast in the top or bottom position. Findings showed that provisions in all code editions evaluated from the 1910 Standard Building Regulations for the Use of Concrete¹⁶ to the working stress and ultimate strength design approaches included in the 1963 ACI Standard 318⁴ do not provide adequate safety for bars cast in the top position, though most are reasonable for bottom cast round bars. This work was presented to ACI Committee 562. Section 4.2.4 of

ACI CODE-562-21¹⁷ therefore targeted the detailing of existing reinforcement during repair work but still permitted compliance to the original building code provided that all damage and deterioration to the reinforcement is addressed and that member capacity exceeds its demand. Commentary Section R4.2.4 acknowledges, however, that “research has shown that development length equations from previous versions of ACI 318 may be unconservative for top reinforcing steel bars.”¹⁷

The database of specimens was then expanded and used to develop a reliability-based equation for the development and lap splice length ℓ_d in inches⁷ for plain round and square bars calibrated in accordance with U.S. practice:

$$\ell_d = \frac{0.073\psi_t d_{b,eq}}{\sqrt{\frac{c_b}{d_{b,eq}}}} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad (\text{Eq. (8.3.1.2) in ACI CODE-562-25})$$

where ψ_t is the reinforcement factor equal to 1.7 or 2.5 when more than 12 in. (305 mm) of fresh concrete is placed below horizontal plain square or round bars, respectively, and equal to 1.0 otherwise; $d_{b,eq}$ is the nominal diameter of a round bar or the equivalent diameter of a square bar in inches; c_b is the least distance from the side, top, or bottom concrete surface to the center of the bar in inches; f_y is the specified yield stress in psi; and f'_c is the specified concrete compressive strength in psi. Equation (8.3.1.2) is similar in form to Eq. (24.4.2.4a) in ACI CODE-318-25¹⁸ for deformed bars with the exception of the inclusion of a square root sign over the ratio of $c_b/d_{b,eq}$ in the denominator. A single deformation within the development length of a deformed bar creates mechanical interlock by bearing against the surrounding concrete once bar slip initiates and so results in a relationship that varies linearly, but not proportionally, with development length.¹⁹ The lack of deformations on plain bars results in the physical need for a linear and proportional relationship and was considered when evaluating the effect of confinement resulting from concrete cover for these bars.⁷ Equation (8.3.1.2) can conservatively be used to evaluate the development length of deformed bars not meeting the requirements of ASTM A615/A615M⁵ or ASTM A706/A706M⁶ due to their originally produced geometry or loss of section caused by corrosion.

Lap-splice specimens reinforced with cold twisted square bars⁸ were also tested to develop a similar equation for the development and splice length of these bars:

$$\ell_d = 0.04\psi_s \psi_s d_{b,eq} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad (\text{Eq. (8.3.1.3) in ACI CODE-562-25})$$

where ψ_s is the reinforcement size factor equal to 1.0 for 1 x 1 in. (25.4 x 25.4 mm) and larger square twisted bars and 0.7 otherwise; and ψ_t is equal to 1.7 if more than 12 in. (305 mm) or more of freshly cast concrete is placed below a horizontal bar and 1.0 otherwise.

The detailing of reinforcement relates to both evaluation

and repair, so such information did not belong in either Chapter 6, Assessment, Evaluation, and Analysis, or Chapter 8, Design of Repairs. The updated research therefore provided the impetus for the development of Chapter 8, Reinforcement Details and Condition for Structural Evaluation and Repair Design that is new to the 2025 Code edition.¹

Chapter 8—A Look Ahead

The 2025 code cycle represented a first step to address items surrounding reinforcement and detailing for structural evaluation and repair. Many topics still need to be addressed. The 2031 code cycle will therefore be the first to feature a subcommittee dedicated to reinforcement and details (ACI Subcommittee 562-G) with a mission to update Chapter 8. Some items planned for the new code cycle include addressing hooks with geometries not meeting the requirements of ACI CODE-318-25, and evaluating concrete members when minimum requirements for beam stirrups and column ties as required by ACI CODE-318-25 are not met.

Improving the quality and contents of Chapter 8 also requires input from the users of ACI CODE-562. Please provide feedback to the author of this article or apply to join ACI Subcommittee 562-G, Reinforcement and Detailing, for the 2031 code cycle.

In closing, I would like to express my gratitude to all the volunteers who worked diligently to bring Chapter 8 of ACI CODE-562-25 to fruition and improve it from its well-meaning first draft to its published form.

References

1. ACI Committee 562, "Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures—Code and Commentary (ACI CODE-562-25)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 130 pp.
2. Abrams, D.A., "Tests of Bond Between Concrete and Steel," *University of Illinois Bulletin No. 71*, University of Illinois, Champaign, IL, 1913, 240 pp.
3. Hurd, M.K., "Ernest L. Ransome – Concrete Designer, Contractor," *Concrete International*, V. 18, No. 5, May 1996, pp. 50–51.
4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI CODE-318-63)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1963, 148 pp.
5. ASTM A615/A615M-24, "Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 8 pp.
6. ASTM A706/A706M-24, "Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, 2024, PA, 9 pp.
7. Feldman, L.R.; Poudyal, U.; and Cairns, J., "Proposed Development Length Equations for Plain Bars," *ACI Structural Journal*, V. 115, No. 6, Nov. 2018, pp. 1615-1623.
8. Poudyal, U., and Feldman, L.R., "Evaluating Historical Flexural Members Reinforced with Ransome Bars," *ACI Structural Journal*,

V. 115, No. 5, Sept. 2018, pp. 1443-1451.

9. Feldman, L.R.; MacFarlane, D.C.; Kroman, J.A.; and Bartlett, F.M., "Construction Staging of the Centre Street Bridge Rehabilitation to Accommodate Emergency Vehicle Traffic," *31st Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering*, 2003, 10 pp. (CD-ROM).

10. Rust, S.J., "Rehabilitation of Historic Hillhurst (Louise) Bridge," *PCI Journal*, V. 42, No. 3, May-June 1997, pp. 22-31.

11. ACI Committee 562, "Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings (ACI 562-13) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 59 pp.

12. ACI Committee 562, "Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings (ACI 562-16) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 88 pp.

13. Feldman, L.R., and Cairns, J., "Assessing Historical Provisions for the Bond of Plain Bars," *ACI Structural Journal*, V. 114, No. 2, Mar.-Apr. 2017, pp. 463-473.

14. Mylrea, T.D., "Bond and Anchorage," *ACI Journal Proceedings*, V. 44, No. 3, Mar. 1948, pp. 521-552.

15. Orangun, C.O.; Jirsa, J.O.; and Breen, J.E., "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices," *ACI Journal Proceedings*, V. 74, No. 3, Mar. 1977, pp. 114-122.

16. NACU, "Standard Building Regulations for the Use of Reinforced Concrete (Standard No. 4)," National Association of Cement Users, Philadelphia, PA, 1910, 14 pp.

17. ACI Committee 562, "Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures – Code and Commentary (ACI 562-21)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 83 pp.

18. ACI Committee 318, "Building Code for Structural Concrete—Code Requirements and Commentary (ACI 318-25)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 699 pp.

19. Joint ACI-ASCE Committee 408, "Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension (ACI 408R-03) (Reapproved 2012)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 62 pp.

Selected for reader interest by the editors



Lisa R. Feldman, FACI, is Professor and Head of the Department of Civil, Geological, and Environmental Engineering at the University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada, and Director of the Saskatchewan Centre for Masonry Design. Feldman is Chair of ACI Subcommittee 562-G, Reinforcement and Detailing, and a member of the ACI Technical Activities Committee, ACI Committees 318, Structural Concrete Building Code, and 562, Evaluation, Repair and Rehabilitation of Concrete Structures.

Evolución del Código ACI-562-25

Capítulo 8: Refuerzo y detallado del armado para la evaluación, reparación y rehabilitación estructural

Por Lisa R. Feldman

Estructuras de Concreto Existentes—Lecciones Aprendidas y Avances en Soluciones

El Comité ACI 562, Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto, se esfuerza para avanzar en la ingeniería y mejorar la reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes. El Comité está dedicado a brindar apoyo a ingenieros, funcionarios de construcción, contratistas, propietarios, inspectores, y otros profesionales, proporcionando información con mayor detalle del que es posible ofrecer únicamente a través del Código ACI-562. Con este fin, y con la intención de mejorar los documentos del comité, sus miembros ofrecen una serie de artículos bajo el tema principal, “Estructuras de concreto existentes—Lecciones Aprendidas y Avances en Soluciones.”

A través de esta serie, los miembros del Comité esperan explicar el motivo detrás de algunos cambios en el Código ACI 562, así como compartir ejemplos de problemas, ideas, conceptos y reflexiones discutidos en las reuniones del Comité ACI 562. Además, se espera que la serie ayude al Comité a atender preguntas provenientes de los sectores de la ingeniería y la construcción, solicitar respuestas a diversos problemas y revisar las áreas que requieren investigación y futuro desarrollo del código.

Cada artículo abordará un tema relacionado a la evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes. Los temas serán seleccionados con la intención de aumentar la conciencia, mejorar la comprensión, y expandir las perspectivas relacionadas a este importante tema.

En enero de 2025, el Código ACI-562-25: Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto—Código y Comentario,¹ estuvo disponible en la plataforma ACI PLUS y ahora se encuentra disponible en formato impreso y PDF. El principal objetivo del ciclo del código 2025 fue incorporar información técnica en este Código y dio como resultado, en parte, la creación de un nuevo Capítulo 8, titulado “Detalles de Refuerzo y Condición para la Evaluación Estructural y el Diseño de la Reparación”. Si bien en esta etapa no está de ninguna manera completo, el Capítulo 8 actualmente incluye definiciones y tipos de barras de refuerzo de acero históricas; longitudes de desarrollo y empalme para la evaluación estructural y el diseño de la reparación; y consideraciones de diseño de la reparación para acero dulce corroído y refuerzo pretensado. Este artículo proporciona contexto e información sobre algunos de los aspectos más novedosos ahora incluidos, así como posibles nuevas directrices para este capítulo en la próxima edición del Código, programada para publicarse en 2031.

Barras De Refuerzo Históricas

La construcción moderna con concreto reforzado se introdujo en los Estados Unidos en la década de 1880. En ese momento, las barras de refuerzo de acero eran de carácter patentado y, por tanto, como se muestra en la Fig. 1, cada fábrica estaba obligada a producirlas con geometrías únicas. Las barras tenían una variedad de formas en sección transversal, incluyendo redonda (Fig. 1(d) y (e)), cuadrada (Fig. 1(b) y (c)), romboidal (Fig. 1(a)) y elíptica (Fig. 1(f)). Incluían rebordes distintivos (Fig. 1(a)), deformaciones elevadas (Fig. 1(c) y (e)), roscas (Fig. 1(d)), hendiduras (no mostradas), perforaciones (no mostradas), y otras deformaciones indescriptibles (Fig. 1(b)) creadas, en este caso, mediante el aplastamiento de la barra a intervalos cortos para mejorar su adherencia con el concreto circundante. Ernest Ransome³ patentó un proceso para torcer plásticamente barras cuadradas lisas alrededor de su eje longitudinal (Fig. 1(b)) con el fin de incorporar efectivamente deformaciones en estas barras. Las barras lisas (en otras palabras, barras sin ninguna deformación) también se permitieron hasta incluso en la edición de 1963 de la ACI 318.⁴ Ninguna de estas barras cumple con los requisitos especificados en ASTM A615/A615M⁵ o ASTM A706/A706M⁶ para barras deformadas.

La Figura 2 muestra que los mecanismos de transferencia de fuerza (también conocidos como adherencia) con el concreto varían según la geometría de la barra. En cada caso mostrado,

un tramo de barra de refuerzo con una geometría particular está embebido concéntricamente en un cilindro de concreto. Se aplica la tensión para extraer la barra del concreto circundante y la superficie inferior del cilindro de concreto normalmente se apoya contra el aparato de ensayo. Tres mecanismos de adherencia resisten la extracción de una barra deformada que cumple con alguno de los estándares actuales de ASTM International^{5,6}, como se muestra en la Fig. 2(a): 1) adhesión entre la barra y el concreto circundante antes de que la barra comience a deslizarse; 2) fricción por deslizamiento entre la barra y las partículas que se desprenden de la interfaz con el concreto luego de la pérdida de adhesión; y 3) anclaje mecánico de las deformaciones que hacen contacto contra el concreto circundante durante el deslizamiento de la barra. La magnitud y orientación de las fuerzas de contacto dependen de la geometría de las deformaciones de la barra, definida por su espaciamiento, altura y ángulos superficiales. Por ejemplo, la Fig. 2(b) muestra que una barra cuadrada torcida incluye los mismos tres mecanismos de adherencia que una barra típicamente deformada, pero que las fuerzas de anclaje mecánico cambian de orientación según el ángulo de la superficie de la barra a lo largo de su longitud. En contraste, una barra lisa (Fig. 2(c)) solo puede resistir la adherencia mediante adhesión y fricción por deslizamiento, dado que no presenta deformaciones que hagan contacto contra el concreto circundante. Por lo tanto, las barras lisas son menos eficaces en adherencia que

las barras típicamente deformadas^{2,7} y requieren mayores longitudes de desarrollo y empalme. Las barras cuadradas retorcidas presentan un mejor comportamiento de adherencia que las barras lisas, pero generalmente no son tan eficaces como las barras deformadas típicas.⁸

Todos estos tipos históricos de barras se utilizaron en estructuras de concreto reforzado en Canadá y Estados Unidos hasta aproximadamente mediados de la década de 1950, y dichas estructuras aún se encuentran en servicio. Algunos ejemplos incluyen el Puente Centre Street en Calgary, AB, Canadá⁹; el Puente Hillhurst Louise en Calgary¹⁰; y el ejemplo, convenientemente cercano, del Edificio Peter McKinnon, ubicado en el campus de la Universidad de Saskatchewan en Saskatoon, SK, Canadá (Fig. 3). Algunas de estas estructuras se consideran edificaciones históricas, por lo que su preservación es esencial. Cualquier reparación, por lo tanto, requiere la capacidad de evaluar la resistencia de los elementos estructurales reforzados con estos tipos históricos de barras. La edición de 1963 del Código ACI-318 fue la última en incluir disposiciones para el esfuerzo de adherencia de barras lisas, y nunca se han incluido disposiciones en ediciones pasadas del Código ACI-318 para barras cuadradas retorcidas. Esto deja a los ingenieros de rehabilitación con la tarea difícil de evaluar adecuadamente longitudes de desarrollo y empalme de estas barras, así como cuantificar la capacidad de los elementos estructurales que han sido reforzados con ellas.

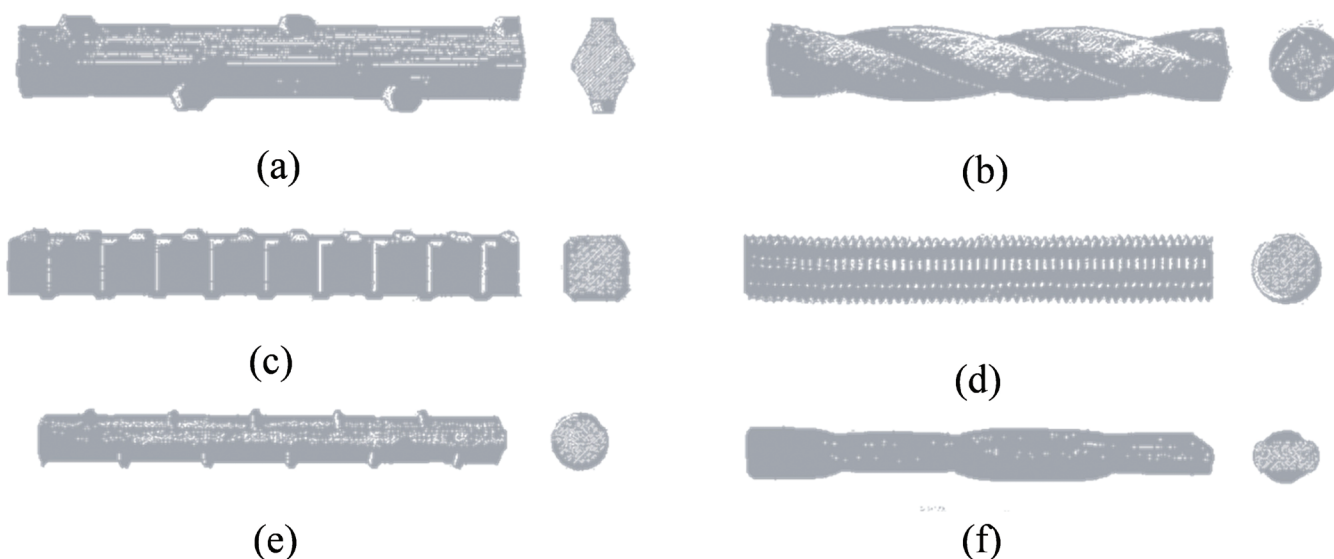


Fig 1: Barras de refuerzo de acero históricas: (a) barra de orejeta recta; (b) barra cuadrada retorcida; (c) barra cuadrada corrugada; (d) barra redonda roscada; (e) barras redondas onduladas; y (f) barra de bombilla Thatcher (después de Abrams⁹)

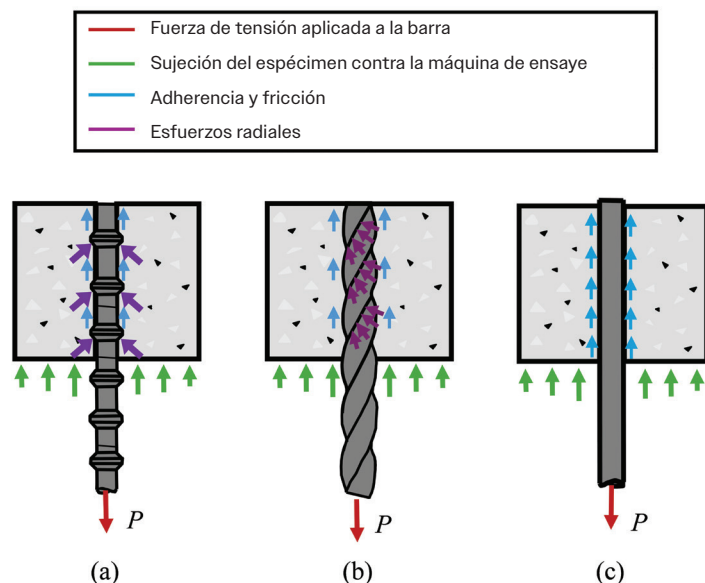


Fig 2. Fuerzas de adherencia a lo largo de las barras de refuerzo: (a) barra corrugada; (b) barra cuadrada retorcida; y (c) barra lisa.



Fig. 3: Edificio Peter McKinnon en el campus de la Universidad de Saskatchewan: (a) vista general; y (b) puerto de inspección que muestra una barra cuadrada retorcida reforzando la losa del piso principal (fotos cortesía de L.R. Feldman)

Evolución del Código ACI-562 Requisitos para el Empalme y Desarrollo de Barras de Refuerzo

El Código ACI-562 siempre ha proporcionado medios para evaluar las longitudes de desarrollo y de empalme por traslape de tipos históricos de barras de refuerzo. La Sección 6.1.2 del Código ACI-562-13 establecía que: “Debe realizarse una evaluación estructural si, durante la evaluación preliminar..., se determina que un elemento existente, partes de una estructura o la estructura completa presentan signos de deterioro, deficiencia estructural o comportamiento que es inconsistente con los documentos disponibles de diseño y construcción o con los requisitos del código vigente al momento de la construcción.”¹¹ Este mismo requisito se incluyó en el Código ACI-562-16.¹² Aplicado al detalle del refuerzo, el desarrollo y el empalme se consideran adecuados si las longitudes cumplen con lo mostrado en los planos de diseño disponibles y con los requisitos del código que gobernaba la fase de diseño del proyecto.

Se identificaron desafíos con el enfoque proporcionado en estas primeras ediciones del Código ACI-562. Las fechas originales de construcción del proyecto generalmente no se conocen con certeza.

El periodo en el que se realizó el diseño estructural es aún más difícil de establecer y puede abarcar entre ediciones sucesivas del código. Por lo tanto, puede resultar complicado determinar qué edición del código se habría seguido para un proyecto, especialmente considerando que las disposiciones

para la adherencia del acero de refuerzo se saben que varían ampliamente entre ediciones históricas consecutivas del Código ACI-318.¹³ Se sabe que los esfuerzos de adherencia no son muy uniformes a lo largo de la longitud de la barra^{2,14,15} y convertirlos en longitudes apropiadas de desarrollo y empalme por traslape no es algo que pueda lograrse fácilmente.

En 2017, Feldman y Cairns¹³ publicaron los resultados de un estudio que evaluó la seguridad estructural de las predicciones históricas del Código ACI-318 para los esfuerzos de adherencia permisibles. Las predicciones del código se compararon con los resultados de especímenes de empalme por traslape y de extremo de viga reforzados con barras lisas redondas o cuadradas, colocadas en posición superior o inferior durante el colado. Los hallazgos mostraron que las disposiciones en todas las ediciones del código evaluadas —desde las Regulaciones Estándar de Construcción para el Uso de Concreto de 1910¹⁶ hasta los enfoques de diseño por esfuerzo admisible y resistencia última incluidos en la Norma ACI 318 de 1963⁴— no proporcionan una seguridad adecuada para barras coladas en la posición superior, aunque la mayoría son razonables para barras redondas coladas en la posición inferior. Este trabajo fue presentado al Comité 562 del ACI. Por lo tanto, la Sección 4.2.4 del Código ACI-562-21¹⁷ se enfocó en el detallado del refuerzo existente durante trabajos de reparación, pero aún permitió el cumplimiento con el código de construcción original, siempre que todos los daños y deterioros del refuerzo sean atendidos y que la capacidad del elemento exceda su demanda. Sin embargo, la Sección de Comentarios R4.2.4 reconoce que “las

investigaciones han demostrado que las ecuaciones de longitud de desarrollo de versiones anteriores del ACI 318 pueden ser no conservadoras para barras de acero de refuerzo colocadas en la parte superior.”¹⁷

La base de datos de especímenes posteriormente fue ampliada y utilizada para desarrollar una ecuación basada en fiabilidad para la longitud de desarrollo y de empalme por traslape ℓ_d en pulgadas⁷ para barras lisas redondas y cuadradas, calibrada de acuerdo con la práctica de los Estados Unidos:

$$\ell_d = \frac{0.073\psi_t d_{b,eq} f_y}{\sqrt{\frac{c_b}{d_{b,eq}} f'_c}} \quad (\text{Eq. (8.3.1.2) en el Código ACI-562-25})$$

donde ψ_t es el factor de refuerzo, igual a 1.7 o 2.5 cuando se colocan más de 12 in. (305 mm) de concreto fresco por debajo de barras horizontales lisas cuadradas o redondas, respectivamente, y es igual a 1.0 en caso contrario; $d_{b,eq}$ es el diámetro nominal de una barra redonda o el diámetro equivalente de una barra cuadrada en pulgadas; c_b es la menor distancia desde la superficie de concreto (lateral, superior o inferior) hasta el centro de la barra, en pulgadas; f_y es el esfuerzo de fluencia especificado en psi; y f'_c es la resistencia a compresión del concreto especificada en psi. La Ecuación (8.3.1.2) es similar en forma a la Ec. (24.4.2.4a) del Código ACI -318-25¹⁸ para barras deformadas, con la excepción de la inclusión de una raíz cuadrada sobre el cociente $c_b/d_{b,eq}$ en el denominador. Una sola deformación dentro de la longitud de desarrollo de una barra deformada crea anclaje mecánico al hacer contacto contra el concreto circundante cuando inicia el deslizamiento de la barra, lo que genera una relación que varía linealmente, pero no proporcionalmente, con la longitud de desarrollo.¹⁹ La ausencia de deformaciones en las barras lisas genera la necesidad física de una relación lineal y proporcional, lo cual fue considerado al evaluar el efecto del confinamiento producido por el recubrimiento de concreto para estas barras.⁷ La Ecuación (8.3.1.2) puede utilizarse de manera conservadora para evaluar la longitud de desarrollo de barras deformadas que no cumplen los requisitos de ASTM A615/A615M⁷ o ASTM A706/A706M⁶, ya sea por su geometría original de fabricación o por pérdida de sección debida a la corrosión.

También se ensayaron especímenes con empalmes por traslape reforzados con barras cuadradas retorcidas en frío⁸ para desarrollar una ecuación similar para la longitud de desarrollo y de empalme de estas barras:

$$\ell_d = 0.04\psi_s \psi_t d_{b,eq} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad (\text{Eq. (8.3.1.3) en el Código ACI-562-25})$$

donde ψ_s es el factor de tamaño del refuerzo, igual a 1.0 para barras cuadradas retorcidas de 1 x 1 in. (25.4 x 25.4 mm) o mayores, y 0.7 en caso contrario; y ψ_t es igual a 1.7 si se colocan 12 in. (305 mm) o más de concreto fresco por debajo de una barra horizontal, y 1.0 en caso contrario.

El detallado del refuerzo se relaciona tanto con la evaluación como con la reparación, por lo que dicha información no pertenecía ni al Capítulo 6, Evaluación, Análisis y Diagnóstico, ni al Capítulo 8, Diseño de Reparaciones. Por lo tanto, la investigación actualizada proporcionó el impulso para el desarrollo del Capítulo 8, Detalles y Condición del Refuerzo para la Evaluación Estructural y el Diseño de las Reparaciones, que es nuevo en la edición del Código 2025.¹

Capítulo 8—Una Mirada Hacia el Futuro

El ciclo del código 2025 representó un primer paso para abordar aspectos relacionados con el refuerzo y el detallado en la evaluación y reparación estructural. Aún quedan muchos temas por tratar. Por lo tanto, el ciclo del código 2031 será el primero en presentar un subcomité dedicado al refuerzo y detalles (Subcomité ACI 562-G), con la misión de actualizar el Capítulo 8. Algunos elementos previstos para el nuevo ciclo del código incluyen abordar ganchos con geometrías que no cumplen los requisitos del Código ACI-318-25, y evaluar miembros de concreto cuando no se cumplan los requisitos mínimos de estribos en vigas y amarres en columnas exigidos por el Código ACI-318-25.

Mejorar la calidad y el contenido del Capítulo 8 también requiere la participación de los usuarios del Código ACI-562. Por favor, proporcione comentarios al autor de este artículo o solicite unirse al Subcomité ACI 562-G, Refuerzo y Detallado, para el ciclo del código 2031.

Para concluir, me gustaría expresar mi gratitud a todos los voluntarios que trabajaron diligentemente para llevar a cabo el Capítulo 8 del Código ACI-562-25 y mejorarlo desde su primer borrador bien intencionado hasta su versión publicada.

Referencias

1. ACI Committee 562, "Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures—Code and Commentary (ACI CODE-562-25)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 130 pp.
2. Abrams, D.A., "Tests of Bond Between Concrete and Steel," University of Illinois Bulletin No. 71, University of Illinois, Champaign, IL, 1913, 240 pp.
3. Hurd, M.K., "Ernest L. Ransome – Concrete Designer, Contractor," Concrete International, V. 18, No. 5, May 1996, pp. 50–51.
4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI CODE-318-63)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1963, 148 pp.
5. ASTM A615/A615M-24, "Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2024, 8 pp.
6. ASTM A706/A706M-24, "Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, 2024, PA, 9 pp.
7. Feldman, L.R.; Poudyal, U.; and Cairns, J., "Proposed Development Length Equations for Plain Bars," ACI Structural Journal, V. 115, No. 6, Nov. 2018, pp. 1615-1623.
8. Poudyal, U., and Feldman, L.R., "Evaluating Historical Flexural Members Reinforced with Ransome Bars," ACI Structural Journal, V. 115, No. 5, Sept. 2018, pp. 1443-1451.
9. Feldman, L.R.; MacFarlane, D.C.; Kroman, J.A.; and Bartlett, F.M., "Construction Staging of the Centre Street Bridge Rehabilitation to Accommodate Emergency Vehicle Traffic," 31st Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, 2003, 10 pp. (CD-ROM).
10. Rust, S.J., "Rehabilitation of Historic Hillhurst (Louise) Bridge," PCI Journal, V. 42, No. 3, May-June 1997, pp. 22-31.
11. ACI Committee 562, "Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings (ACI 562-13) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 59 pp.
12. ACI Committee 562, "Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings (ACI 562-16) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2016, 88 pp.
13. Feldman, L.R., and Cairns, J., "Assessing Historical Provisions for the Bond of Plain Bars," ACI Structural Journal, V. 114, No. 2, Mar.-Apr. 2017, pp. 463-473.
14. Mylrea, T.D., "Bond and Anchorage," ACI Journal Proceedings, V. 44, No. 3, Mar. 1948, pp. 521-552.
15. Orangun, C.O.; Jirsa, J.O.; and Breen, J.E., "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices," ACI Journal Proceedings, V. 74, No. 3, Mar. 1977, pp. 114-122.
16. NACU, "Standard Building Regulations for the Use of Reinforced Concrete (Standard No. 4)," National Association of Cement Users, Philadelphia, PA, 1910, 14 pp.
17. ACI Committee 562, "Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures – Code and Commentary (ACI 562-21)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 83 pp.
18. ACI Committee 318, "Building Code for Structural Concrete—Code Requirements and Commentary (ACI 318-25)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2025, 699 pp.
19. Joint ACI-ASCE Committee 408, "Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension (ACI 408R-03) (Reapproved 2012)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 62 pp.

Lisa R. Feldman, FACI, es Profesora y Jefa del Departamento de Ingeniería Civil, Geológica y Ambiental en la Universidad de Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canadá, y Directora del Centro de Diseño en Albañilería de Saskatchewan. Feldman es Presidenta del Subcomité ACI 562-G, Refuerzo y Detallado, y miembro del Comité de Actividades Técnicas del ACI, de los Comités ACI 318, Código de Construcción de Concreto Estructural, y 562, Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Estructuras de Concreto.



Título original en inglés:
Evolution of ACI CODE-562-25.
Chapter 8: Reinforcement and detailing for
structural evaluation, repair, and rehabilitation

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo Perú**



Traductora:
**Est. Katia Verónica
Pérez Tasso**



Revisor Técnico:
**Ing. Julio Higashi
Luy**