

# A Review of Reinforced Concrete Corner Joints Subjected to Opening Moments

by Joseph L. Yamin

**C**orner joints, which require moments to be transferred through them, are encountered frequently in many structures. In general, there are two types of corners: those with moments that tend to close, and those with moments that tend to open the re-entrant corner. This article will focus on the latter. Some examples include retaining walls, frames, stairs, abutments, and tanks (refer to Fig. 1). In many cases, engineers simply detail these joints based on beam theory by designing the required tensile steel area for a given moment at a critical section, just outside the joint, and developing that reinforcement into the joint to ensure the bar can transfer the required force. As will be shown, this approach and assumption cannot be relied upon, and the joint in general will have less capacity than assumed. Moreover, to achieve sufficient joint capacity, the detailing of the reinforcement in these corner regions becomes extremely important.

This article will discuss reinforced concrete joints having moments that tend to open the re-entrant corner—given their sensitivity to detailing. Relevant background theory, research findings, and recommendations will be presented. The goal is

to better inform engineers to ensure that future design of these types of joints achieve the desired strength.

## Historical Context

With the significant re-organization of ACI 318 in 2014, Chapter 15 was apportioned to outline the requirements for the design and detailing of joints.<sup>1</sup> Given the nature of corner joints and their sensitivity to detailing, the updated 2019 version of ACI 318<sup>2</sup> took the first step in alerting engineers to this topic.

Section 15.2.4 of ACI 318-19 states: “At corner joints between two members, the effects of closing and opening moments within the joint shall be considered.”

Commentary Section R15.2 reads: “Corner joints occur where two non-colinear members transfer moment and terminate at the joint. A roof-level exterior joint is an example of a corner joint between two members, also referred to as a knee joint. Corner joints are vulnerable to flexural failure from either closing or opening moments, even if the flexural strengths at the joint faces are sufficient.”

This reiterates what was mentioned previously, that is, just

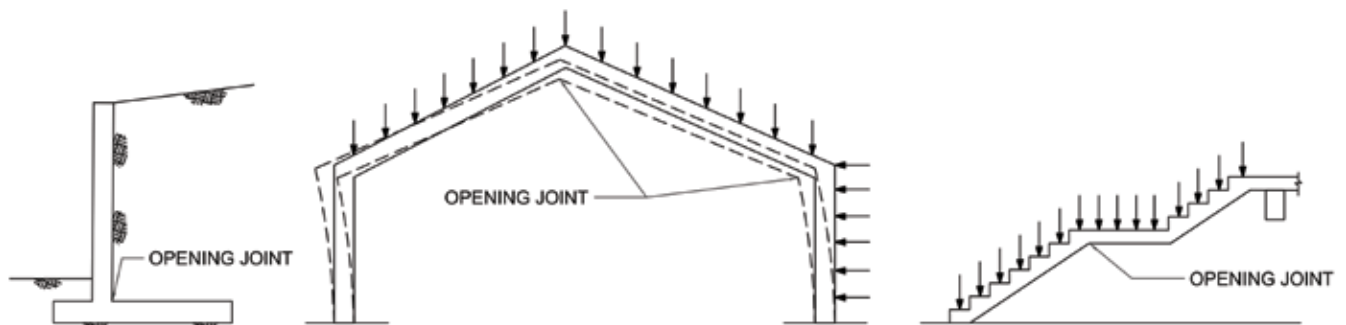


Fig. 1: Examples of corners with opening moment

because reinforcement is designed for the moment at the critical section just outside the joint interface, and developed into the joint, it does not ensure the joint has the capacity to transfer that moment. Considering the code and commentary language, engineers are alerted to the fact that a joint subjected to opening moment needs special attention.

In fact, the apparent lack of joint strength has been known for quite some time. In 1970, a report from ACI Committee 408 (now Joint ACI-ASCE Committee 408, Bond and Development of Steel Reinforcement) recognized these issues.<sup>3</sup> Within this document, the section on joints acknowledges the deficiencies in the apparent capacities, and implores the need for more research:

“Tests on corner or knee joints subject to tension on the inside have, in nearly all reported tests failed to develop the full strength of the members which frame in....

The entire field of end anchorage and joint details appears wide open for investigation. Practical details which can develop the full flexural strength of the bending members need to be developed and tested.”<sup>3</sup>

From the mid-1960s through early 1970s, pioneering research was conducted in Europe, mainly in the United Kingdom and Sweden, to study the behavior of reinforced concrete corner joints.<sup>4,7</sup> The purpose was to investigate and develop rational methods for the design and detailing of

reinforcement at joints subjected to moments. The compilation of much of this research culminated in a paper by Nilsson and Losberg titled “Reinforced Concrete Corners and Joints Subjected to Bending Moment.”<sup>6</sup>

### Background Theory

To provide corner joints with sufficient capacity for the applied moments, one must understand the basic mechanics that occur in these regions. In doing so, an insight into the possible reasons for their apparent lack of capacity may become clear.

Euler-Bernoulli beam theory provides the theoretical basis for the design of beam elements that frame into corners. The principle states that stresses and strains are linear (that is, plane sections remain plane). However, due to the inherent geometric discontinuity of these corner regions, the shear deformations have a significant effect, such that the Euler-Bernoulli hypothesis is no longer valid. Prior to cracks forming, the stresses and strains within the corner are nonlinear (refer to Fig. 2).

If the corner was idealized as a truss with compression and tension forces, it would become apparent that the geometric discontinuity causes a diagonal tension condition to exist. This occurs as the compression forces converge at the outside of the corner. The diagonal tension condition results in cracks forming within the joint, that tend to propagate to the edges (Fig. 3(a)). This creates a condition which tends to “push off,” or spall, the outside corner. Based on the geometry for 90-degree corners, the splitting force is equal to  $\sqrt{2} \times C$ , where  $C$  is the compression force component of the moment’s force-couple resolution (Fig. 3(b)).

In addition, at the re-entrant corner, there is a net tension equal to  $\sqrt{2} \times T$  that causes a crack to propagate inward from the re-entrant corner (Fig. 3(c)). If unaddressed, these cracks and potential for spalling significantly weaken the strength of the corner and cause premature failure.

### Experimental Results

Various joint specimens have been tested throughout the years by multiple researchers to observe joint performance and capacity. For these tests, various corner geometries (for example, 60, 90, and 135 degrees) as well as various reinforcement arrangements were investigated. In addition to the reinforcement arrangements, the reinforcement ratio is a parameter that was generally varied for testing,

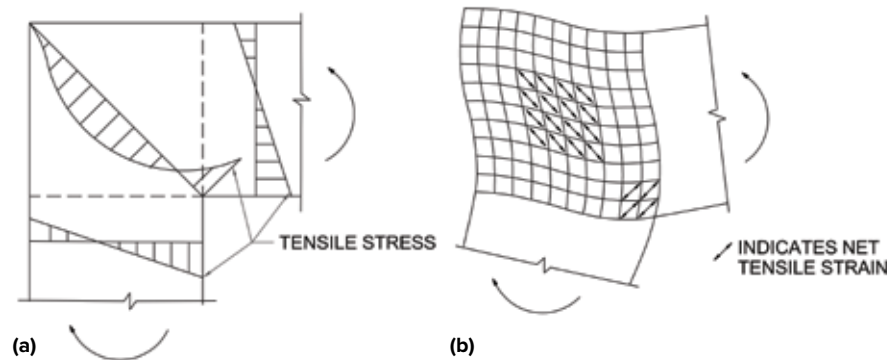


Fig. 2: Mechanics of stresses and strains forming at a corner: (a) flexural stresses; and (b) tensile strains

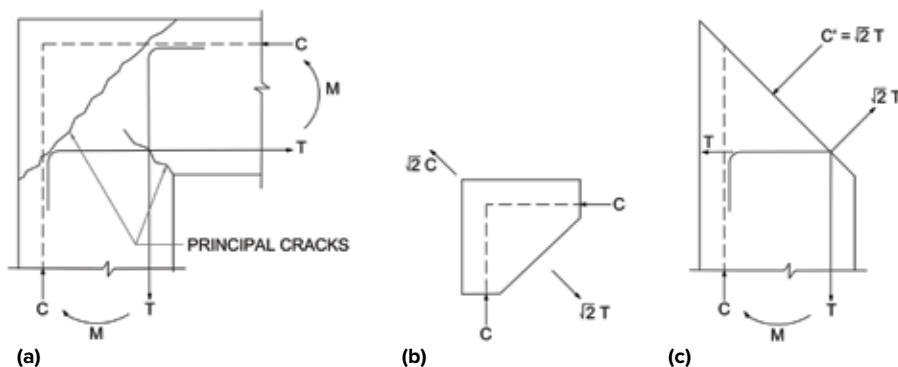


Fig. 3: Idealized forces at corner: (a) crack formation; (b) mechanics at outer corner; and (c) mechanics at inner corner

however, for simplification purposes, the focus on reinforcement ratio will not be included in this discussion.

Before going any further, it is important to introduce a general parameter associated with joints, which is a term called “joint efficiency” or “corner efficiency.” As the name implies, it is a term to describe the ability of a corner detail to achieve the capacity of the beam elements framing in. Specifically, corner efficiency is understood as  $\eta = M_T/M_C$ , where  $M_T$  is the moment capacity determined by testing, and  $M_C$  is the moment capacity determined through calculation (flexure capacity of adjacent beam element). When  $\eta > 1.0$ , the corner has a strength at least as great as the beam elements framing into it. As discussed earlier, the goal is to have joints that have strengths at least as large as the members connected to them, and when they do fail, they do so in a ductile manner.

For the purposes of this article, a select number of test geometries and corresponding results are highlighted in Fig. 4 and Table 1. Obviously, there are nuances for each test regimen (that is, size of framing elements, reinforcement ratio, and concrete strength), which are too granular to focus on for this discussion but will have some effect if you want to truly make a proper comparison. However, the purpose of choosing the various examples outlined is to show that some obvious trends can be observed. As shown from the test results, there is a clear relationship

between the joint detailing and joint efficiency; while there may be scatter among the different trials, some general observations can be made.

The first main takeaway is the importance of hook orientation and/or confinement. That is, for main tensile reinforcement developed into a joint, it is clearly better to have hooks oriented to the compression face of the incoming member (that is, hooks confined). For example, note the general increase in capacity between the “a” series joints and

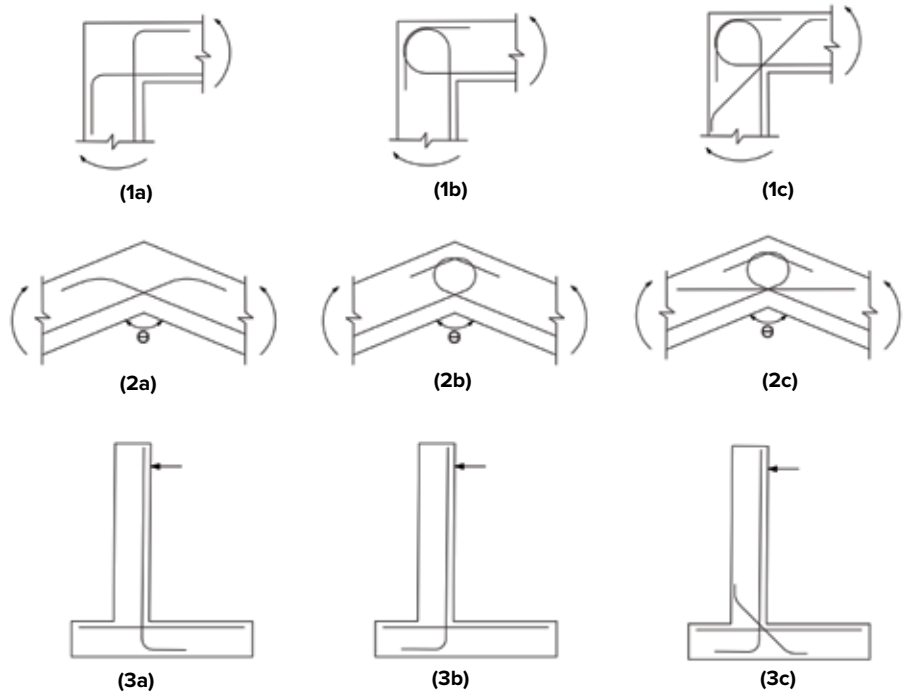


Fig. 4: Selected experimental joint configurations. Refer to Table 1 for joint efficiencies

**Table 1:**  
Corner efficiencies determined from tests by various researchers

Joint detail	Corner efficiency $\eta = M_T/M_C$					
	Mayfield et al., 1972 <sup>5</sup>	Nilson and Losberg, 1976 <sup>6</sup>	Johansson, 2001 <sup>8</sup>	Campana et al., 2013 <sup>9</sup>	Abdul-Wahab and Ali, 1989 <sup>10</sup>	Abdul-Wahab and Salman, 1999 <sup>11</sup>
1a	0.52	0.32	—	0.35 <sup>†</sup>	—	—
1b	0.78	0.87	0.77	0.65 <sup>†</sup>	—	0.63
1c	0.98 <sup>†</sup>	1.17 <sup>†</sup>	0.98	0.95 <sup>†</sup>	—	0.98
2a <sup>†</sup>	—	0.49	—	0.36	0.87 <sup>†</sup>	—
2b <sup>†</sup>	—	0.88	—	0.44	1.02 <sup>†</sup>	0.64
2c <sup>†</sup>	—	1.27 <sup>†</sup>	—	0.89	1.40 <sup>†</sup>	1.34
3a	—	0.60	—	—	—	—
3b	—	1.01	—	—	—	—
3c	—	1.19	—	—	—	—

<sup>†</sup> $\Theta = 135^\circ$  (Nillson and Losberg<sup>6</sup>);  $\Theta = 125^\circ$  (Campana et al.<sup>9</sup>);  $\Theta = 145^\circ$  (Abdul-Wahab and Ali<sup>10</sup>);  $\Theta = 150^\circ$  (Abdul-Wahab and Salman<sup>11</sup>)

<sup>†</sup>Indicates approximate average of test results

“b” series joints for the various corner geometries. From the test results, primary crack patterns as previously discussed are evident. Recall the earlier discussion regarding idealization of forces at the corner (Fig. 3). The “b” series details, with their confined hooks enveloping the outer concrete corner, help to provide the necessary confinement, or tie effect, to restrain the corner from spalling prematurely. Alternatively, in some tests, investigators provide specimens with intentional diagonal stirrups to create this tie. While this is a more direct and rational approach to creating a tie, it is admittedly more cumbersome to build, and for that reason is not as prevalent in typical construction details in North America.

A second takeaway is the addition of a diagonal bar. This reinforcement significantly increases joint efficiency as can be seen between “b” series joints and “c” series joints by providing the necessary tension tie to aid in the transfer of tension between the framing elements across the inside face of the joint. In addition, this bar helps to stiffen the joint from excessive rotation and minimizes crack widths at the re-entrant corner. The need for this bar may seem obvious based on the

idealized forces discussed earlier, but, in the author’s experience, it is one that very few designers include in their details. Tests have shown that the total area of the diagonal bars needs to be only about half the area of the main tension reinforcement.<sup>6</sup>

### Strut-and-Tie Approach

As an alternative to the recommendations based on the various test regimes previously discussed, readers should consider using the strut-and-tie method (STM) as an approach to detailing corners with opening moments. STM is a sanctioned approach outlined in ACI 318-19(22), Section 23.1,<sup>12</sup> given the nature of the geometric discontinuity, and is one which should ensure joints have sufficient capacity. Recall that the stresses and strains in the corner are nonlinear prior to cracking. After the onset of cracks, elastic stresses no longer exist, and with the redistribution of forces in the joint, a rational STM would be an appropriate approach to analyze and design the reinforcement in the joint.

It is not the intent of this article to go into the detailed step-by-step requirements and calculations outlined by the STM approach. However, in terms of a basic overview, the main task of the STM process consists of creating an idealized pin-jointed truss.<sup>13</sup> This hypothetical truss should have compression elements (“struts”) that form the basis of the compression field forces in the joint, as well as tension elements (“ties”) representing the needed tensile reinforcement. The arrangement of the truss model is completely within the engineer’s purview to lay out, within the geometric constraints mandated in ACI 318-19(22). However, the engineer must ensure that: 1) the internal forces of the truss model are in equilibrium with the applied loads; 2) the truss is capable of transferring loads to the adjacent elements (refer to Section 23.2 of ACI 318-19(22)); and 3) the selected truss geometry follows the elastic flow of forces. Examples of potential strut-and-tie arrangements for some typical corner joint configurations are shown Fig. 5.

### Summary

This article was developed to introduce engineers to the potential inadequacies of corner joints subjected to opening moments. It has been shown through testing that simply carrying the reinforcement design from the adjacent beam elements and developing into the joint is not sufficient to ensure joints have adequate moment capacity. From the selected research, an understanding of the internal mechanics and reinforcement details becomes paramount in ensuring joints have sufficient capacity to transfer the required moments. While the author recommends that engineers review the various referenced research papers to gain the full context of their results, a summary of recommendations is provided for convenience:

- Include continuous corner reinforcement in the outer compression zone to avoid spalling of the corner;
- Provide hooks on the incoming main tension reinforcement

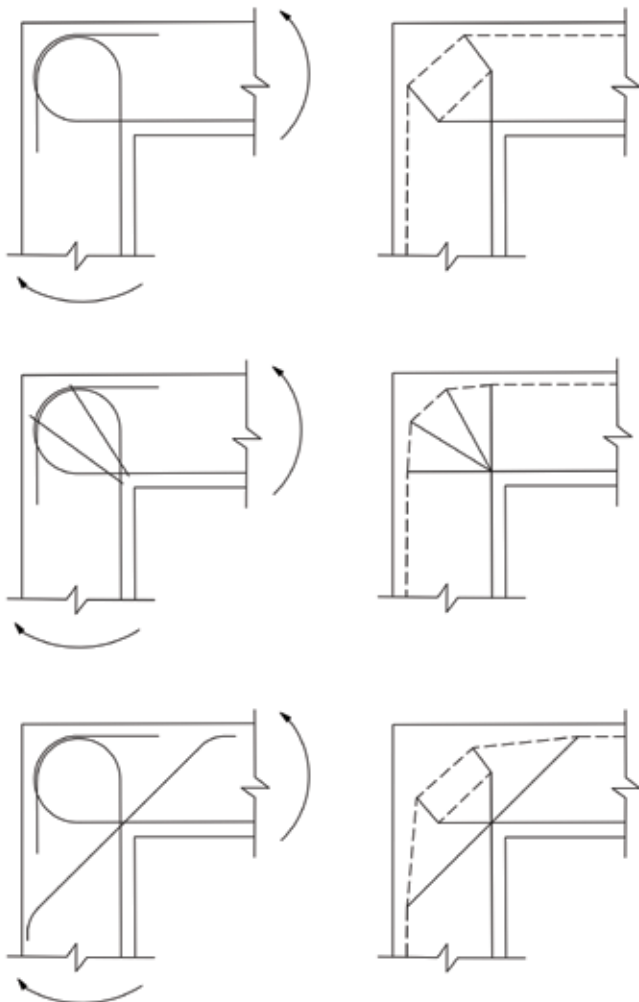


Fig. 5: Examples of strut-and-tie model configurations. Dashed lines indicate struts, and solid lines indicate ties

from the beam elements and orient the hooks to the compression face. This ensures the hooks are maximally confined;

- Reinforce re-entrant corners with an additional diagonal bar. Tests have shown that providing a diagonal bar with an area as little as 50% of that of the main tension reinforcement is effective;
- Do not simply increase the developed main beam tension reinforcement ratio to overcome the lack of joint capacity. Tests have shown joint efficiency generally reduces at higher reinforcement percentages; and
- Consider, in addition to the recommendations resulting from the various referenced tests, approaching the design of corner joints using STM given they are recognized as discontinuity regions.

## References

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 520 pp.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
3. ACI Committee 408, "Opportunities in Bond Research," *ACI Journal Proceedings*, V. 67, No. 11, Nov. 1970, pp. 857-867.
4. Mayfield, B.; Kong, F.-K.; Bennison, A.; and Twiston Davies, J.C.D., "Corner Joint Details in Structural Lightweight Concrete," *ACI Journal Proceedings*, V. 68, No. 5, May 1971, pp. 366-372.
5. Mayfield, B.; Kong, F.-K.; and Bennison, A., "Strength and Stiffness of Lightweight Concrete Corners," *ACI Journal Proceedings*, V. 69, No. 7, July 1972, pp. 420-427.
6. Nilsson, I.H.E., and Losberg, A., "Reinforced Concrete Corners and Joints Subjected to Bending Moment," *Journal of the Structural Division*, V. 102, No. 6, June 1976, pp. 1229-1254.
7. Somerville, G., and Taylor, H.P.J., "The Influence of Reinforcement Detailing on the Strength of Concrete Structures," *The Structural Engineer*, V. 50, No. 1, 1972, pp. 7-19.
8. Johansson, M., "Reinforcement Detailing in Concrete Frame Corners," *ACI Structural Journal*, V. 98, No. 1, Jan.-Feb. 2001, pp. 105-115.
9. Campana, S.; Ruiz, M.F.; and Muttoni, A., "Behavior of Nodal Regions of Reinforced Concrete Frames Subjected to Opening Moments and Proposals for Their Reinforcement," *Engineering Structures*, V. 51, June 2013, pp. 200-210.
10. Abdul-Wahab, H.M.S., and Ali, W.M., "Strength and Behavior of Reinforced Obtuse Corners Under Opening Bending Moments," *ACI Structural Journal*, V. 86, No. 6, Nov. 1989, pp. 679-685.
11. Abdul-Wahab, H.M.S., and Salman, S.A.R., "Effect of Corner Angle on Efficiency of Reinforced Concrete Joints under Opening Bending Moments," *ACI Structural Journal*, V. 96, No. 1, Jan. 1999, pp. 115-121.
12. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI CODE-318-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
13. Schlaich, J.; Shafer, K.; and Jennewein, M., "Toward a Consistent Design of Structural Concrete," *PCI Journal*, V. 32, No. 3, May-June 1987, pp. 74-150.

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **Joseph L. Yamin** is the Assistant Structural Engineering Director at STV (Buildings Group) for the New York/Metro region. He has been with STV since 2019 and has 15 years of experience in the field of structural engineering. His primary areas of practice are the design of buildings and facility structures. Yamin received his BS in civil engineering from Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA, and his MS in civil engineering from Columbia University, New York, NY, USA. He is a licensed professional engineer in multiple states.

Sign up for  
Concrete  
**SmartBrief**

**The smart way to stay  
on top of concrete  
industry news.**

Created by SmartBrief in partnership with ACI, Concrete SmartBrief provides a daily e-mail snapshot of the concrete industry with news from leading global sources. Summaries of what matters to you, written by expert editors, to save you time and keep you informed and prepared.

Welcome to Concrete SmartBrief; sign up at:

**[www.smartbrief.com/ACI](http://www.smartbrief.com/ACI)**



# Revisión de juntas en esquinas de un Concreto Reforzado sometidas a momentos de apertura

por Joseph L. Yamin

En muchas estructuras se encuentran con frecuencia juntas de esquina, que requieren que se transfieran momentos a través de ellas. En general, existen dos tipos de esquinas: las que tienen momentos que tienden a cerrar la esquina y las que tienen momentos que tienden a abrir la esquina. Este artículo se centrará en este último caso. Algunos ejemplos incluyen muros de contención, marcos, escaleras, pilares y tanques (Ver Fig. 1). En muchos casos, los ingenieros simplemente detallan estas uniones basándose en la teoría de la viga, diseñando el área de acero de tensión requerida para un momento dado en una sección crítica, justo afuera de la unión, y desarrollando ese refuerzo en la unión para garantizar que la barra pueda transferir la fuerza requerida. Como se mostrará, no se puede confiar en este enfoque y suposición, y la junta en general tendrá menos capacidad. Además, para conseguir una capacidad de unión suficiente, el detalle del refuerzo en estas zonas de las esquinas resulta extremadamente importante.

Este artículo analizará las juntas de concreto reforzado que tienen momentos que tienden a abrir la esquina - rincón, dada su sensibilidad al detalle. Se presentarán teorías relevantes, resultados de investigaciones y recomendaciones. El objetivo es informar mejor a los ingenieros para garantizar que los diseños futuros de este tipo de uniones alcancen la resistencia deseada.

## Contexto Histórico

Con la importante reorganización de ACI 318 en 2014, se asignó el Capítulo 15 para delinear los requisitos para el diseño y detalle de juntas<sup>1</sup>. Dada la naturaleza de las juntas de esquina y su sensibilidad al detalle, la versión actualizada de 2019 de ACI 318<sup>2</sup> dio el primer paso para alertar a los ingenieros sobre este tema.

La sección 15.2.4 de ACI 318-19 establece: "En las juntas de esquina entre dos elementos, se deberán considerar los efectos de los momentos de cierre y apertura dentro de la junta".

La sección de comentarios R15.2 dice: "Las uniones de esquina ocurren cuando dos miembros no colineales transfieren momento y terminan en la unión. Una junta exterior a nivel del techo es un ejemplo de junta de esquina entre dos miembros, también conocida como junta de rodilla. Las juntas de esquina son vulnerables a fallas por flexión debido a momentos de cierre o apertura, incluso si las resistencias a la flexión en las caras de la junta son suficientes".

Esto reitera lo que se mencionó anteriormente, es decir, solo porque el refuerzo está diseñado para el momento en la sección crítica justo fuera de la interfaz de la articulación, y se genera en la articulación, no asegura que la articulación tenga la capacidad de transferir ese momento. Teniendo en cuenta el código y el lenguaje de los comentarios, se alerta a los ingenieros sobre el hecho de que una articulación sometida a un momento de apertura necesita atención especial.

De hecho, la aparente falta de fuerza articular ha sido conocida desde hace bastante tiempo. En 1970, un informe del Comité ACI 408 (ahora Comité Conjunto de ACI-Asce, Adherencia y Desarrollo de Refuerzo de Acero) reconoció estos problemas<sup>3</sup>. Dentro de este documento, la sección sobre las articulaciones reconoce las deficiencias en las capacidades aparentes y resalta la necesidad de mayor investigación:

“Las pruebas en las articulaciones de esquina o de rodilla están sujetas a la tensión en el interior, en casi todas las pruebas reportadas, éstas no lograron desarrollar toda la fuerza de los miembros que enmarcan...”

Todo el campo del anclaje final y los detalles conjuntos parecen ser campo abierto para la investigación. Los detalles prácticos que pueden desarrollar la fuerza de flexión completa de los miembros de flexión deben desarrollarse y probarse<sup>3</sup>”.

Desde mediados de la década de 1960 hasta principios de la década de 1970, se realizó una investigación pionera en Europa, principalmente en el Reino Unido y Suecia, para estudiar el comportamiento de las articulaciones de la esquina de concreto<sup>4-7</sup>. El propósito era investigar y desarrollar métodos racionales para el diseño y el detallado del refuerzo en las articulaciones sometidas a momentos. La compilación de gran parte de esta investigación culminó en un documento de Nilsson y Losberg titulado "Esquinas y juntas de concreto reforzado sometidas a un momento de flexión<sup>6</sup>".

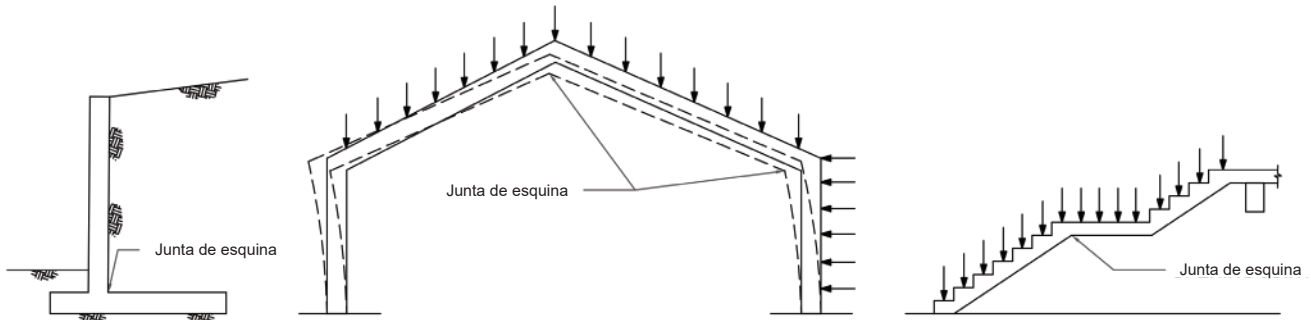


Fig. 1: Ejemplos de esquinas con momento de apertura.

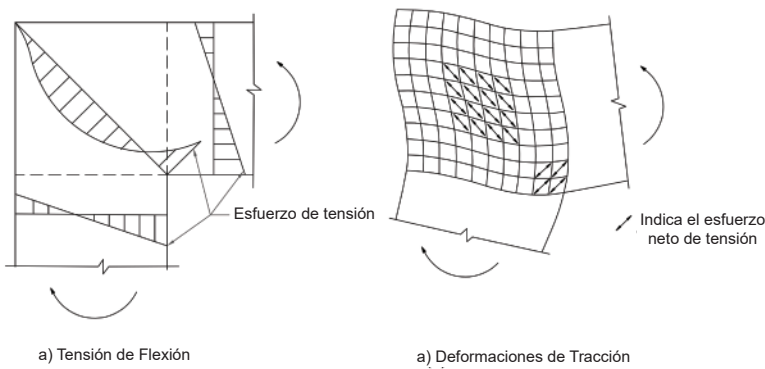


Fig. 2: Mecánica de tensiones y deformaciones que se forman en una esquina: (a) tensiones de flexión; y (b) deformaciones de tracción.

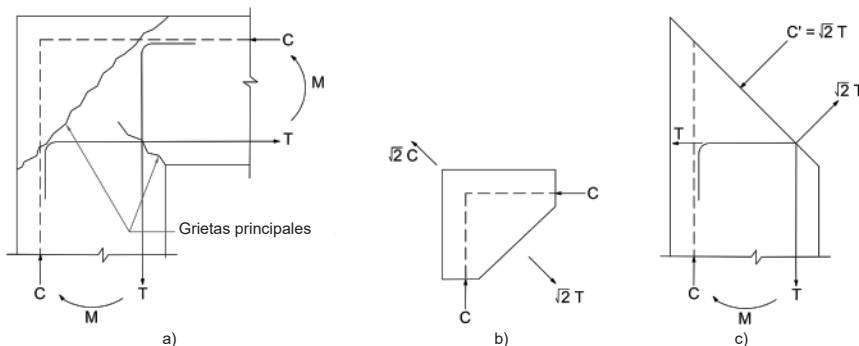


Fig. 3: Fuerzas idealizadas en la esquina: (a) formación de grietas; (b) mecánica en la esquina exterior; y (c) mecánica en la esquina interior.

## Teorías de soporte

Para proporcionar a las juntas de esquina una capacidad suficiente para los momentos aplicados, uno debe comprender la mecánica básica que ocurre en estas regiones. Al hacerlo, una idea de las posibles razones de su aparente falta de capacidad puede quedar clara.

La teoría de vigas de Euler-Bernoulli proporciona la base teórica para el diseño de elementos de vigas que forman esquinas. El principio establece que las tensiones y las deformaciones son lineales (es decir, las secciones del plano permanecen planas). Sin embargo, debido a la discontinuidad geométrica inherente de estas regiones de esquina, las deformaciones de corte tienen un efecto significativo, de modo que la hipótesis de Euler-Bernoulli ya no es válida. Antes de formarse grietas, las tensiones y deformaciones dentro de la esquina no son lineales (Ver Fig. 2).

Si la esquina fuera idealizada como una armadura con fuerzas de compresión y tensión, se haría evidente que la discontinuidad geométrica hace que exista una condición de tensión diagonal. Esto ocurre cuando las fuerzas de compresión convergen en el exterior de la esquina. La condición de tensión diagonal da como resultado grietas que se forman dentro de la articulación, que tienden a propagarse a los bordes (Fig. 3 (a)). Esto crea una condición que tiende a "empujar" o al desprendimiento, de la esquina exterior. Basado en la geometría para las esquinas de 90 grados, la fuerza de división es igual a  $\sqrt{2 \times C}$ , donde  $C$  es el componente de fuerza de compresión de la resolución de la reducción de la fuerza del momento (Fig. 3 (b)).

Además, en la esquina rincón, hay una tensión neta igual a  $\sqrt{2} \times T$  que hace que una grieta se propague hacia adentro desde la esquina rincón (Fig. 3 (c)). Si no se abordan, estas grietas y potencial para descascaramiento prematuro debilitarán significativamente la resistencia de la esquina y causan una falla prematura.

**Tabla 1:**  
**Eficiencias de esquina determinadas a partir de pruebas por varios investigadores**

Detallado de la junta	Eficiencia de esquina $\eta = M_r/M_c$					
	Mayfield et al., 1972 <sup>5</sup>	Nilson y Losberg, 1976 <sup>6</sup>	Johansson, 2001 <sup>8</sup>	Campana et al., 2013 <sup>9</sup>	Abdul-Wahab y Ali, 1989 <sup>10</sup>	Abdul-Wahab y Salman, 1999 <sup>11</sup>
1A	0.52	0.32	—	0.35 <sup>†</sup>	—	—
1B	0.78	0.87	0.77	0.65 <sup>†</sup>	—	0.63
1C	0.98 <sup>†</sup>	1.17 <sup>†</sup>	0.98	0.95 <sup>†</sup>	—	0.98
2A <sup>*</sup>	—	0.49	—	0.36	0.87 <sup>†</sup>	—
2B <sup>*</sup>	—	0.88	—	0.44	1.02 <sup>†</sup>	0.64
2C <sup>*</sup>	—	1.27 <sup>†</sup>	—	0.89	1.40 <sup>†</sup>	1.34
3A	—	0.60	—	—	—	—
3B	—	1.01	—	—	—	—
3C	—	1.19	—	—	—	—

\* $\Theta = 135^\circ$  (Nilsson y Losberg<sup>6</sup>);  $\Theta = 125^\circ$  (Campana et al.<sup>9</sup>);  $\Theta = 145^\circ$  (Abdul-Wahab y Ali<sup>10</sup>);  $\Theta = 150^\circ$  (Abdul-Wahab y Salman<sup>11</sup>)

<sup>†</sup>Indica el promedio aproximado de los resultados de las pruebas.



## Resultados experimentales

Varias muestras de juntas han sido probadas a lo largo de los años por múltiples investigadores para observar el rendimiento y la capacidad de las articulaciones. Para estas pruebas, se investigaron varias geometrías de esquina (por ejemplo, 60, 90 y 135 grados), así como varias posiciones de refuerzo. Además de las disposiciones de refuerzo, la relación o proporción del refuerzo es un parámetro que generalmente también fue variado para las pruebas, sin embargo, para fines de simplificación, el enfoque en la relación de refuerzo no se incluirá en esta discusión.

Antes de continuar, es importante introducir un parámetro general asociado con las juntas, que es un término llamado "eficiencia conjunta" o "eficiencia de esquina". Como su nombre lo indica, es un término para describir la capacidad de un detalle de esquina para lograr la capacidad de los elementos de viga que se enmarcan. Específicamente, la eficiencia de la esquina se entiende como  $\eta = M_r/M_c$ , donde  $M_r$  es la capacidad de momento determinada por las pruebas y  $M_c$  es la capacidad de momento determinada mediante el cálculo (capacidad de flexión del elemento de haz adyacente). Cuando  $\eta > 1.0$ , la esquina tiene una fuerza al menos tan grande como los elementos del haz enmarcados en él. Como se discutió anteriormente, el objetivo es tener articulaciones que tengan resistencias al menos tan grandes como los miembros conectados con ellos, y cuando fallan, lo hacen de manera dúctil.

Para los fines de este artículo, el número de geometrías de prueba y los resultados correspondientes se destacan en la Fig. 4 y la Tabla 1. Obviamente, hay matices para cada régimen de prueba (es decir, tamaño de elementos de encuadre, relación de refuerzo y resistencia de concreto), que son demasiado granulares para centrarse para esta discusión, pero tendrán algún efecto si realmente desea hacer una comparación adecuada. Sin embargo, el propósito de elegir los diversos ejemplos descritos es mostrar que se pueden observar algunas tendencias obvias. Como se muestra en los resultados de la prueba, existe una relación clara entre los detalles conjuntos y la eficiencia conjunta; Si bien puede haber dispersión entre los diferentes ensayos, se pueden hacer algunas observaciones generales.

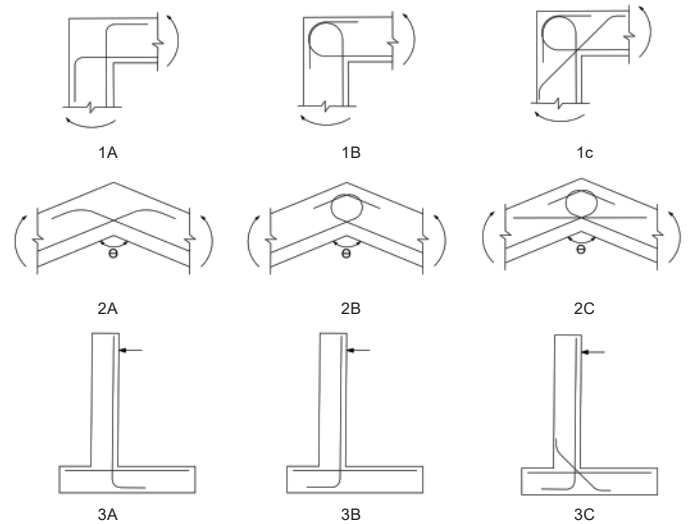


Fig. 4: Configuraciones de articulación experimentales seleccionadas. Consulte la Tabla 1 para obtener eficiencias articulares.

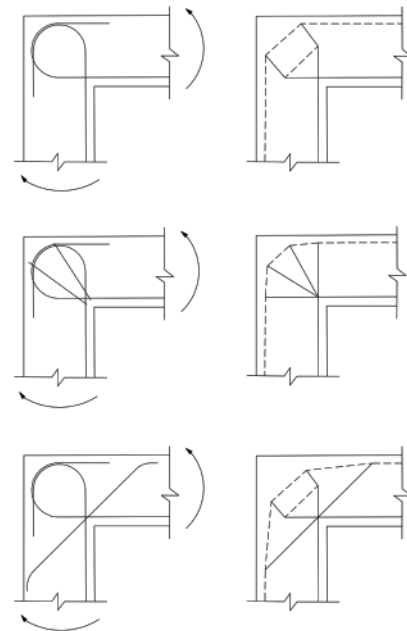


Fig. 5: Ejemplos de configuraciones de modelos de puntal y arriostramiento. Las líneas discontinuas indican puntales y las líneas continuas indican ataduras.

La primera conclusión es la importancia de la orientación y/o el confinamiento del gancho. Es decir, para el refuerzo de tracción principal desarrollado en una articulación, es claramente mejor tener ganchos orientados a la cara de compresión del miembro entrante (es decir, ganchos confinados). Por ejemplo, tenga en cuenta el aumento general de la capacidad entre las juntas de la serie "A" y las articulaciones de la serie "B" para las diversas geometrías de esquina. A partir de los resultados de la prueba, los patrones de grietas primarias como se discutió anteriormente

son evidentes. Recuerde la discusión anterior sobre la idealización de las fuerzas en la esquina (Fig. 3). Los detalles de la serie "B", con sus ganchos confinados que envuelven la esquina de concreto exterior, ayudan a proporcionar el confinamiento necesario, o el efecto de amarre, para impedir el descascamiento prematuro. Alternativamente, en algunas pruebas, los investigadores proporcionan muestras con estribos diagonales intencionales para crear este empate. Si bien este es un enfoque más directo y racional para crear un empate, es ciertamente más engorroso de construir, y por esa razón no es tan frecuente en los detalles de construcción típicos en América del Norte.

Una segunda conclusión, es la adición de una barra diagonal. Este refuerzo aumenta significativamente la eficiencia de las articulaciones, como se puede ver entre las juntas de la serie "B" y las articulaciones de la serie "C" al proporcionar el vínculo de tensión necesario para ayudar en la transferencia de tensión entre los elementos de encuadre en la cara interior de la articulación.

Además, esta barra ayuda a endurecer la articulación de la rotación excesiva y minimiza los anchos de grietas en la esquina rincón. La necesidad de esta barra puede parecer obvia basada en las fuerzas idealizadas discutidas anteriormente, pero, en la experiencia del autor, es una que muy pocos diseñadores incluyen en sus detalles. Las pruebas han demostrado que el área total de las barras diagonales debe ser solo la mitad del área del refuerzo de la tensión principal<sup>6</sup>.

## Enfoque de puntal y arriostramiento

Como alternativa a las recomendaciones basadas en los diversos regímenes de prueba discutidos anteriormente, los lectores deben considerar el uso del método de puntal y corbata STM (the strut-and-tie method - STM) como un enfoque para detallar las esquinas con los momentos de apertura. STM es un enfoque sancionado descrito en ACI 318-19 (22), sección 23.1<sup>12</sup> dada la naturaleza de la discontinuidad geométrica, y es una que debe garantizar que las articulaciones tengan capacidad suficiente. Recuerde que las tensiones en la esquina no son lineales antes de agrietarse. Después del inicio de las grietas, ya no existen tensiones elásticas, y con la redistribución de fuerzas en la articulación, un STM racional sería un enfoque apropiado para analizar y diseñar el refuerzo en la articulación.

No es la intención de este artículo entrar en los requisitos y cálculos detallados paso a paso descritos por el enfoque STM. Sin embargo, en términos de una visión general básica, la tarea principal del proceso STM consiste en crear una armadura articulada<sup>13</sup>. Esta armadura hipotética debería tener elementos de compresión ("puntales") que formen la base de las fuerzas del campo de compresión en la estructura, así como elementos de tensión ("uniones") que representan el refuerzo de tracción necesario. La disposición del modelo de armadura está completamente dentro del alcance del ingeniero, dentro de las restricciones geométricas exigidas en ACI 318-19(22). Sin embargo, el ingeniero debe asegurarse de que: 1) las fuerzas internas del modelo de armadura estén en equilibrio con las cargas aplicadas; 2) la armadura sea capaz de transferir cargas a los elementos adyacentes (consulte la Sección 23.2 de ACI 318-19(22)); y 3) la geometría de la armadura seleccionada sigue el flujo elástico de fuerzas. En la Fig. 5 se muestran ejemplos de posibles disposiciones de puntales y arriostramiento para algunas configuraciones típicas de juntas de esquinas

## Resumen

Este artículo fue desarrollado para presentar a los ingenieros las posibles deficiencias de las juntas de esquina sujetas a momentos de apertura. Se ha demostrado mediante pruebas que simplemente trasladar el diseño de refuerzo de los elementos de viga adyacentes y desarrollarlo en la junta no es suficiente para garantizar que las juntas tengan una capacidad de momento adecuada. A partir de la investigación seleccionada, la comprensión de la mecánica interna y los detalles del refuerzo se vuelve fundamental para garantizar que las juntas tengan la capacidad suficiente para transferir los momentos requeridos. Si bien el autor recomienda que los ingenieros revisen los diversos artículos de investigación a los que se hace referencia para obtener el contexto completo de sus resultados, se proporciona un resumen de recomendaciones para mayor comodidad:

- Incluir refuerzo de esquina continuo en la zona de compresión exterior para evitar el desconchado de la esquina;
- Proporcione ganchos en el refuerzo de tensión principal entrante de los elementos de la viga y oriente los ganchos hacia la cara de compresión. Esto asegura que los ganchos estén confinados al máximo;
- Refuerce las esquinas entrantes con una barra diagonal adicional. Las pruebas han demostrado que es eficaz proporcionar una barra diagonal con un área tan pequeña como el 50% de la del refuerzo de tensión principal;
- No se limite a aumentar la relación de refuerzo de tensión de la viga principal desarrollada para superar la falta de capacidad de la junta. Las pruebas han demostrado que la eficiencia de las juntas generalmente se reduce con porcentajes de refuerzo más altos; y
- Considere, además de las recomendaciones resultantes de los distintos ensayos referenciados, abordar el diseño de uniones de esquina utilizando STM dado que se reconocen como regiones de discontinuidad.

## Referencias

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 520 pp.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
3. ACI Committee 408, "Opportunities in Bond Research," ACI Journal Proceedings, V. 67, No. 11, Nov. 1970, pp. 857-867.
4. Mayfield, B.; Kong, F.-K.; Bennison, A.; and Twiston Davies, J.C.D., "Corner Joint Details in Structural Lightweight Concrete," ACI Journal Proceedings, V. 68, No. 5, May 1971, pp. 366-372.
5. Mayfield, B.; Kong, F.-K.; and Bennison, A., "Strength and Stiffness of Lightweight Concrete Corners," ACI Journal Proceedings, V. 69, No. 7, July 1972, pp. 420-427.
6. Nilsson, I.H.E., and Losberg, A., "Reinforced Concrete Corners and Joints Subjected to Bending Moment," Journal of the Structural Division, V. 102, No. 6, June 1976, pp. 1229-1254.
7. Somerville, G., and Taylor, H.P.J., "The Influence of Reinforcement Detailing on the Strength of Concrete Structures," The Structural Engineer, V. 50, No. 1, 1972, pp. 7-19.
8. Johansson, M., "Reinforcement Detailing in Concrete Frame Corners," ACI Structural Journal, V. 98, No. 1, Jan.-Feb. 2001, pp. 105-115.
9. Campana, S.; Ruiz, M.F.; and Muttoni, A., "Behavior of Nodal Regions of Reinforced Concrete Frames Subjected to Opening Moments and Proposals for Their Reinforcement," Engineering Structures, V. 51, June 2013, pp. 200-210.
10. Abdul-Wahab, H.M.S., and Ali, W.M., "Strength and Behavior of Reinforced Obtuse Corners Under Opening Bending Moments," ACI Structural Journal, V. 86, No. 6, Nov. 1989, pp. 679-685.
11. Abdul-Wahab, H.M.S., and Salman, S.A.R., "Effect of Corner Angle on Efficiency of Reinforced Concrete Joints under Opening Bending Moments," ACI Structural Journal, V. 96, No. 1, Jan. 1999, pp. 115-121.
12. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI CODE-318-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
13. Schlaich, J.; Shafer, K.; and Jennewein, M., "Toward a Consistent Design of Structural Concrete," PCI Journal, V. 32, No. 3, May-June 1987, pp. 74-150.

Seleccionado por los editores para interés del lector.



**Joseph L. Yamin**, miembro de ACI, es Subdirector de Ingeniería Estructural del Grupo Constructor STV para la región metropolitana de Nueva York. El ha laborado con STV desde 2019 y tiene 15 años de experiencia en el ramo de ingeniería estructural. Sus principales áreas de trabajo son el diseño de edificios e instalaciones. Yamin recibió su título de Ingeniería Civil de la Universidad Rutgers en New Brunswick, NJ Estados Unidos, y su Maestría en Ciencias de Ingeniería Civil de la Universidad de Columbia, New York, NY Estados Unidos. Es un ingeniero con licencia profesional registrada en múltiples estados de la Unión Americana.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noroeste

*Título: Revisión de juntas en esquinas de un Concreto Reforzado sometidas a momentos de apertura*



*Traductor:*  
*Ing. Oscar Ramírez Arvízu*



*Revisor Técnico:*  
*Ing. Genaro Salinas*