

Designing for Construction Productivity and Safety

Designers need to be mindful of forming, shoring, reshoring, and backshoring

by Gordon H. Reigstad, Jason G. Reigstad, and Jared M. Reigstad

Thanks to the many outstanding software tools available today, structural engineers can efficiently and effectively design economical reinforced concrete (RC) and post-tensioned (PT) concrete structures. However, even the best computer programs do not prevent engineers from incorporating unfortunate details into their project plans. For example, many project designs require temporary movement joints to minimize cracking due to strains associated with floor movement caused by concrete volume change. However, the commonly used detail—the so-called pour strip—can be quite problematic (Fig. 1). We have observed through the years that the positioning and design of pour strips are rarely thoroughly considered, so these details are often the cause of construction delays, added costs, and safety issues.

The Main Issue

Volume change is a challenging aspect of RC and PT construction. If no measures are taken to minimize restraint to shortening (RTS) from columns, braced frames, moment frames, and shear walls, strains resulting from concrete shrinkage, creep, temperature, and elastic shortening associated with post-tensioning can result in high tensile stresses and significant cracking. In an elevated slab, the common solution is to use a pour strip—a gap between two placements of an elevated slab. A properly designed pour strip will temporarily interrupt slab continuity between the laterally stiff structural elements, thus lowering the RTS. Because creep and shrinkage strains increase with time, cracking can be reduced by keeping the pour strip open for an extended period. It is not uncommon for the design engineer to require that a project's pour strips remain open for 28 or 56 days, but we have seen project specifications calling for even longer open times.



Fig. 1: Pour strips are gaps in floor structures designed to minimize restraint of early stage volume changes of concrete: (a) backshoring and changes in elevation create logistical and scheduling issues; and (b) delayed concrete placements result in high unit costs

Location Matters

In addition to detailing and specifying the minimum open time for pour strips, the design engineer determines the locations for pour strips. Pour strips are generally located in a span that is about halfway between the stiffest elements, and often this is near the middle of the building or a section of the building, as geometry needs to be taken into account. The specific location within the selected span requires careful consideration.¹

Quarter-span

Some engineers position the pour strip at quarter-span locations, near the point of contraflexure (zero bending moment) for uniform loads. Relatively light flexural reinforcement is required at these locations. Although the slab shear is relatively high, inexpensive concrete shear keys can be used to carry shear across the completed joint; shear friction can also be used.

Before closure of the pour strip, however, the quarter-span location results in a long cantilever that may be difficult to design as self-supporting. The loads due to slab self-weight are cumulative, so all the slab levels in the affected bay must be backshored (refer to the text box), and the shores must carry high loads. Furthermore, backshores must stay in place until the concrete structure is complete (shown in Fig. 2(a)).

The need for shoring all levels can cause significant costs for the concrete formwork contractor, but the cost of shoring is only part of the total cost. To avoid overloads, shores near the lower levels must be closely spaced, making it nearly impossible for other trades to work in the affected areas. Even if access is possible, many mechanical, electrical, plumbing, and finishing systems cannot be completed until the pour strip is closed. Furthermore, changes in elevation and exposed

Definitions Provided by ACI Committee 347²

Backshores—shores left in place or shores placed snugly under a concrete slab or structural member after the original formwork and shores have been removed from a small area, without allowing the entire slab or member to deflect or support its self-weight and construction loads.

Reshores—shores placed snugly under a stripped concrete slab or other structural member after the original forms and shores have been removed from a full bay, requiring the new slab or structural member to deflect and support its own weight and existing construction loads to be applied before installation of the reshores.

Shore—vertical or inclined support member or braced frame designed to carry the weight of the formwork, concrete, and construction loads.

reinforcement in a pour strip create safety hazards for workers crossing the gap. Not only do these challenges significantly affect the schedule but they also create logistical and safety issues for everyone on the jobsite.

Midspan

If located at the midspan (Fig. 2(b)), closure of a pour strip will require significant positive moment reinforcement. The conventional solution is to splice the reinforcement extending from both sides of the pour strip. This requires Class B lap splices per the ACI 318 Code.³ If the cantilevers are not designed as self-supporting, loads will accumulate on the backshoring, just as they do with the quarter-span location. Thus, locating a pour strip at the midspan provides construction advantages only if the cantilevers are designed as

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 email 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

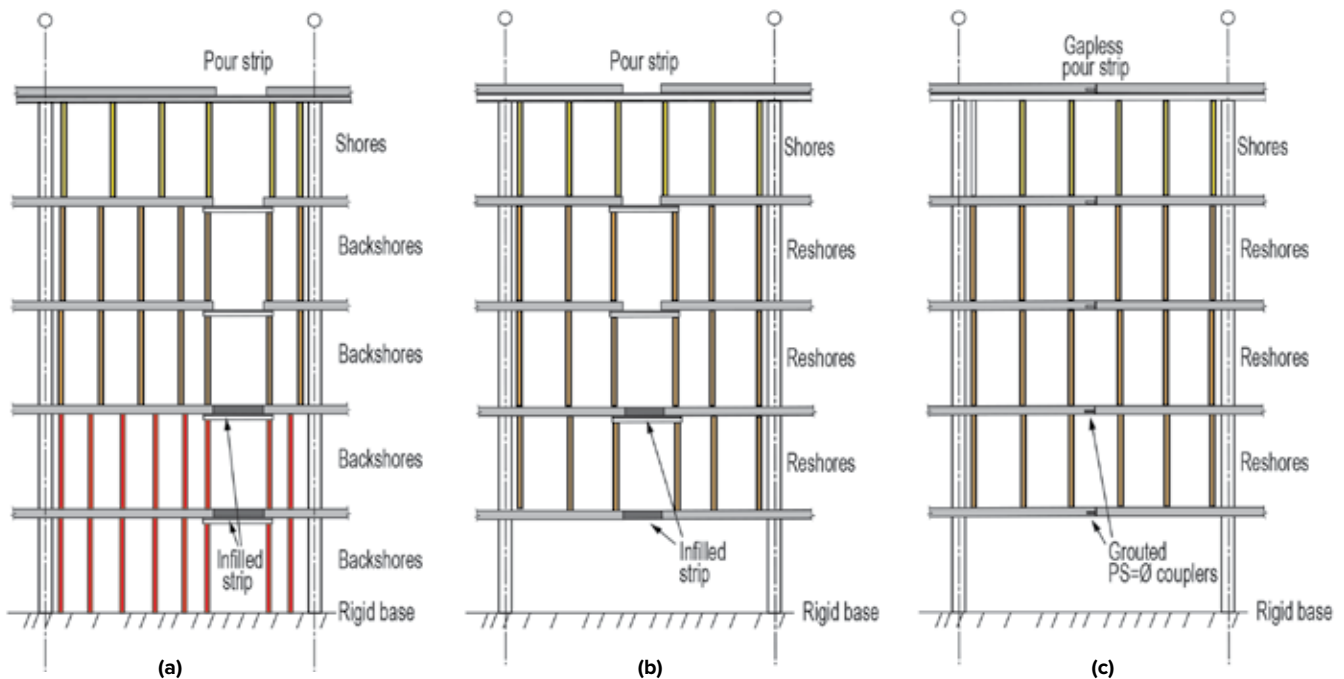


Fig. 2: Pour strips can significantly impact formwork and shoring: (a) conventional pour strips can result in cantilevered slabs that require heavily loaded backshores extending to the base of the structure; (b) if the cantilevers can be designed to be self-supporting, conventional pour strips can reduce the need for backshoring; and (c) gapless pour strips can provide similar advantages, combined with a safer working surface at all levels

self-supporting (with a small premium for added reinforcement). Reshoring is required, but only to support the self-weight of the next slab to be cast and its associated construction loads. Backshoring is not required, and loads are not cumulative. Furthermore, the reshoring can be terminated when the floor structure below can support one level of self-weight and construction loads.

Due to these advantages, most contractors prefer the midspan location for pour strips, with each cantilever designed as self-supporting. This system allows for the reshoring solution rather than the higher-capacity (that is, many more shores), multistory backshoring solution that needs to stay in place until the completion of the concrete structure.

Alternative Solutions

A recent article provides a formwork designer’s insights regarding backshoring and reshoring,⁴ proposing that a wide pour strip will facilitate the creation of self-supporting cantilever slabs, thereby allowing reshoring in lieu of backshoring. Another option is what we call a “gapless pour strip” (Fig. 2(c)).

While the term gapless pour strip could be considered an oxymoron, it provides a good description of this form of

strain-relief joint. A gapless pour strip does not require a gaping opening in the floor structure, so it can greatly enhance jobsite safety by eliminating openings and changes in elevation. Also, a gapless pour strip eliminates what most concrete contractors say is the most expensive concrete (per unit) on a project—the closure placement (Fig. 1(b)). Even more significantly, however, the gapless pour strip eliminates the hassles, delays, and safety hazards associated with moving equipment, materials, and personnel over a gap and through the dense shoring required for many standard pour strips (Fig. 1(a)).

A gapless pour strip will also necessitate a change in normal operations for PT construction. The lack of a gap will mean the tendons in the second slab cannot be tensioned at the joint. In other words, dead-end anchors will be needed at that location. Fortunately, the contractor can determine placement and tensioning sequences without affecting the structural design.

To create a gapless pour strip, some type of device is required at the strain-relief joint. This device must be capable of transferring forces across the joint after the second slab at the joint has been placed and sufficient time has passed for most of the volume change to occur. We classify these devices



Fig. 3: The PS=Ø Mechanical Rebar Splicing System can ensure ductile continuity and a gapless pour strip



Fig. 4: The PS=Ø mechanical coupler allows contractors to produce gapless pour strips: (a) the couplers are attached to formwork at a construction joint prior to placement of the first slab at the joint (here, shown on a wide-module joist placement); and (b) after the specified time has passed after placement of the second slab at the joint, workers place very high-strength grout in PS=Ø mechanical couplers. The red arrows indicate the open joint that will be filled with concrete matching the slab strength

as lockable dowels and mechanical couplers. The former is designed to transfer shear forces, and the latter is designed to transfer both shear and tensile forces across the joint.

Lockable dowels

The lockable dowel is designed to transfer shear forces yet allow for horizontal movement until it is locked using an epoxy filler. This type of device does not provide the required ductile diaphragm chord continuity of the reinforcing bars. Furthermore, because diaphragm chord continuity will be interrupted at the pour strip, the designer may need to add lateral force-resisting elements to compensate for the interruption. In other words, a gapless pour strip created using lockable dowels will behave like an expansion joint, creating two independent structures. As a result, the device must be accommodated in the original structural design.

Mechanical couplers

Our company has developed the PS=Ø[®] Mechanical Rebar Splicing System (Fig. 2(c) and Fig. 3), which allows for free movement at the strain-relief joint until the coupler is grouted with a very high-strength concrete grout (Fig. 4). The PS=Ø system uses proven coupler technologies that have been used worldwide for decades. With a threaded end and a grout-filled sleeve, this system is listed in ICC ESR-4213⁵ as meeting ACI 318 Type 1 and Type 2 mechanical splice requirements for deformed reinforcing bars, and it complies with both the Florida and California building codes. The PS=Ø system continues a long, successful coupler history of mechanically splicing reinforcing bars, providing ductile continuity in countless seismic applications all over the world.

When used with formed shear keys in the concrete and/or using shear friction, this mechanical coupler results in both shear and moment continuity across a strain-relief joint. The coupler also provides the required ductile diaphragm chord continuity of reinforcing bars. Furthermore, because the PS=Ø coupler is ductile cast-iron steel filled with concrete grout, and the gap is filled with concrete, all fire ratings are maintained simply by using the same cover as required for steel reinforcing bars by the International Building Code.

The system allows flexibility regarding the location of the strain-relief joint. If the joint is located at a quarter-span location (where a self-supporting cantilever is usually too long to be practical), backshoring is traditionally necessary. With the PS=Ø system, dowel action prior to grouting creates a propped cantilever, which is self-supporting and requires only reshoring. If the joint is located at the midspan, however, there is also an opportunity to create self-supporting cantilevers and thus eliminate the need for backshoring in lower levels (Fig. 2(c)). Fortunately, in typical PT construction, it is

relatively easy to design a self-supporting cantilever, with the pour strip (strain-relief joint) located at the midspan. Furthermore, when a pour strip is needed for stressing (at an interior location), with PS=Ø, the pour strip can be placed back immediately after stressing the second slab, again achieving the gapless pour strip. A similar application is available at walls below grade with a slotted hole in the PS=Ø coupler that allows for longitudinal as well as transverse movement.

Regarding installation timing, because no redesign is required, many PS=Ø couplers have been installed late in the project to improve the schedule. So, while a single level remains to be cast, it is never too late to incorporate the PS=Ø system in that level.

With the pour strip located at the midspan, the PS=Ø system has all the same behavior and engineering characteristics of the traditional midspan pour strip (with lap slicing for continuity) but without the gap. The only required flexural reinforcement at the midspan location is the bottom reinforcing bars needed to be coupled to provide the required midspan positive moment capacity.

The general conclusion with the PS=Ø system is to place the pour strip at either the quarter-span or the midspan. The quarter-span location has the advantage of no additional PT tendons and fewer PS=Ø couplers, whereas if the original design called for a midspan pour strip (as is most economical for the traditional pour strip), no redesign is required even though there may be a slight premium for some additional post-tensioning. In neither case is backshoring required, and significant cost, schedule, and safety benefits are achieved with either location.

—PS=Ø, www.pourstrip0.com

Acknowledgments

Thanks to ACI Honorary Member William Gamble for his review and input during the development of the PS=Ø® Mechanical Rebar Splicing System.

References

1. Allred, B., "Issues in Post-Tensioned Construction," *Concrete Construction*, Jan. 2006, www.concreteconstruction.net/how-to/construction/issues-in-post-tensioned-construction_o.
2. ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete (ACI 347R-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 36 pp.
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
4. Bordner Tanck, M., "Pour Strips and Constructability," *Structure Magazine*, Apr. 2014, pp. 46-47.

5. ICC-Evaluation Report ESR-4213, "PS=Ø Steel Reinforcement Splice System for Steel Reinforcing Bars," ICC-Evaluation Service, LLC, Country Club Hills, IL, USA, Mar. 2019, 6 pp.

Selected for reader interest by the editors.



Gordon H. Reigstad is President of Reigstad & Associates, Inc., Saint Paul, MN, USA. He has over 47 years of experience in structural engineering and design. Reigstad holds four patents focused on reinforced and post-tensioned concrete construction, and he currently serves on the ACI Board Task Group on Productivity in Concrete Construction.

He received his PhD in structural engineering from the University of Minnesota Twin Cities, Minneapolis and St. Paul, MN, and he serves on the Planning Committee for the annual University of Minnesota Structural Engineering Seminar Series.



Jason G. Reigstad is a Vice President at Reigstad & Associates, Inc. He has been involved with evaluating and restoring parking structures for over 30 years while also performing on-site construction administration on large-scale structures nationwide. *Engineering News-Record* named him one of the "Top 25 Newsmakers" of 2017 for his work on investigating carbon-grid-reinforced

double-tee parking structures, and he is currently serving on ACI Committee 347, Formwork for Concrete. He received his BS in civil engineering from the University of North Dakota, Grand Forks, ND, USA.



Jared M. Reigstad is a Vice President at Reigstad & Associates, Inc. He has over 17 years of experience in structural engineering and design. He oversees operations at Reigstad, including the structural engineering and precast engineering departments, and he currently serves on Joint ACI-PCI Committee 319, Precast Structural Concrete Code. He received his BS in civil engineering from

Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA, and his MCE from Norwich University, Northfield, VT, USA, where he is an adjunct faculty member teaching in the Master of Civil Engineering program.

Diseñar para la productividad y seguridad de la construcción

Diseñadores deben tener en mente de encofrados, apuntalamiento, recimbrado y puntales temporales.

Por Gordon H. Reigstad, Jason G. Reigstad, and Jared M. Reigstad.

Gracias a las excelentes herramientas de software que hoy están disponibles, los ingenieros estructurales pueden diseñar de manera eficiente y efectiva, estructuras económicas de concreto armado (CA) y pos-tensado (PT). Sin embargo, incluso los mejores programas de computadoras no evitan que los ingenieros incorporen detalles desafortunados en sus proyectos. Por ejemplo, muchos diseños de proyectos requieren juntas de movimiento temporales para minimizar el agrietamiento debido a las tensiones asociadas con los movimientos de piso causados por cambios en el volumen del concreto. Sin embargo, el detalle utilizado comúnmente -la llamada tira de vertido- puede ser bastante problemático (Fig. 1). Hemos observado a través de los años que el posicionamiento y diseño de las tiras de vertido rara vez son consideradas a fondo, por lo que estos detalles suelen ser la causa de los atrasos de construcción, costos añadidos, y problemas de seguridad.

El Problema Principal

El cambio de volumen es un aspecto desafiante en la construcción de CA y PT. Si no se toman medidas para minimizar la restricción de acortamiento (RTS) de columnas, pórticos reforzados, pórticos resistentes a momentos, y paredes cortantes, las deformaciones resultantes de la contracción, fluencia, temperatura y acortamiento elástico del concreto asociado con el pos-tensado pueden resultar en tensiones altas y agrietamiento significativo. En una losa elevada la solución común es utilizar una tira de vertido -un espacio entre dos colocaciones de una losa elevada.

Una tira de vertido diseñada correctamente interrumpirá temporalmente la continuidad de la losa entre los elementos estructurales lateralmente rígidos, reduciendo así el RTS.



(a)



(b)

Fig. 1: Las tiras de vertido son espacios en las estructuras de pisos diseñadas para minimizar la restricción de los cambios de volumen del concreto en las primeras etapas: a) puntales temporales y los cambios en la elevación crean problemas logísticos y de programación; y b) las colocaciones de concreto retrasadas dan como resultado costes unitarios elevados.

Debido a que las deformaciones por fluencia y contracción aumentan con el tiempo, el agrietamiento se puede reducir manteniendo la tira de vertido abierta por un periodo extendido. No es raro que el ingeniero de diseño requiera que las tiras de vertido de un proyecto se mantengan abiertas durante 28 o 56 días, pero hemos visto especificaciones de proyectos que exigen tiempos de apertura aún más largos.

La ubicación importa

Además de detallar y especificar el tiempo de apertura para las tiras de vertido, el ingeniero de diseño determina la ubicación para las tiras de vertido. Las tiras de vertido por lo general se ubican en un espacio que se encuentra aproximadamente a la mitad entre los elementos más rígidos, y a menudo, esto cerca del medio del edificio o una sección del edificio, ya que debe tenerse en cuenta la geometría. La ubicación específica dentro del espacio seleccionado requiere una consideración cuidadosa.¹

Un Cuarto de Tramo

Algunos ingenieros colocan la tira de vertido en ubicaciones de un cuarto del tramo, cerca del punto de contra flexión (momento de cero flexión) para cargas uniformes. En estos lugares se requiere un refuerzo para flexión relativamente ligero. Aunque la cortante de la losa es relativamente alta, se pueden utilizar llaves cortantes de concreto para llevar la cortante a través de la junta completa; también se puede utilizar fricción cortante.

Sin embargo, antes del cierre de la tira de vertido, la ubicación del cuarto de tramo da como resultado un voladizo largo que puede ser difícil de diseñar como autoportante. Las cargas a causa del peso propio de la losa son acumulativas, por lo que todos los niveles de losa en el tramo afectado deben ser apuntalados (consulte el cuadro de texto) y los puntales deben soportar cargas elevadas. Además, los puntales temporales deben permanecer en su sitio hasta que la estructura de concreto esté completada (mostrado en Fig. 2(a)).

La necesidad para apuntalar todos los niveles puede generar costos significativos para el contratista de encofrados de concreto, pero el costo de apuntalar es solo una parte del costo total. Para evitar sobrecargas, los puntales cerca de los niveles bajos deben estar poco separados, lo que hace casi imposible que otros oficios trabajen en las áreas afectadas. Incluso si el acceso es posible, muchos sistemas mecánicos, eléctricos, de plomería y de acabado no pueden ser completados hasta que la tira de vertido esté cerrada.

Definiciones proveídas por el Comité ACI 347²

Puntales temporales: puntales que se dejan en su lugar o puntales colocados cómodamente debajo de una losa de concreto o un miembro estructural después de que el encofrado y los puntales originales se hayan quitado de un área pequeña, sin permitir que toda la losa o el miembro se deflexione o soporte su propio peso y las cargas de construcción.

Puntales de reapuntalamiento: puntales colocados cómodamente debajo de una losa de concreto decapado u otro miembro estructural después de que las cimbras originales y los puntales se hayan quitado de un tramo completo, requiriendo que la nueva losa o miembro estructural se desvíe y soporte su propio peso y que las cargas de construcción existentes que se aplicarán antes de la instalación de los puntales de reapuntalamiento.

Puntal: miembro de soporte vertical o inclinado, o un pórtico arriostrado diseñado para cargar el peso del encofrado, el concreto, y las cargas de construcción.

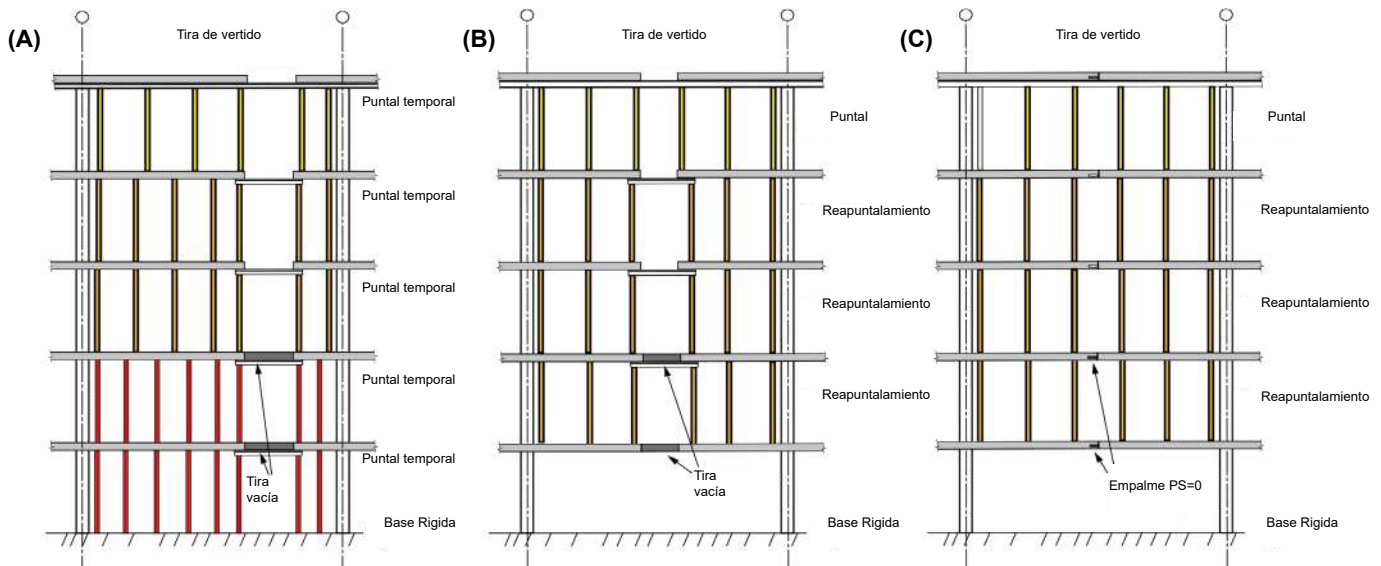


Fig. 2: Las tiras de vertido pueden impactar significativamente el encofrado y el apuntalamiento: (a) las tiras de vertido convencionales pueden resultar en losas en voladizo que requieren puntales temporales muy cargados que se extienden hasta la base de la estructura; (b) si los voladizos pueden ser diseñados para que sean autoportantes, las tiras de vertido convencionales pueden reducir la necesidad para puntales temporales; y (c) las tiras de vertido sin espacios pueden proveer ventajas similares, combinadas con una superficie de trabajo más segura en todos los niveles.

Además, los cambios en elevación refuerzo expuesto en una tira de vertido crean peligros para los trabajadores que cruzan la brecha. Estos desafíos no solo afectan significativamente la agenda de trabajo, sino que también crean problemas logísticos y de seguridad para todos en el lugar de trabajo.

Mitad del tramo

Si se encuentra a mitad del tramo (Fig.2 (b)), el cierre de la tira de vertido requerirá un refuerzo de momento positivo significativo. La solución convencional es empalmar el refuerzo que se extiende desde ambos lados de la tira de vertido. Esto requiere empalmes solapados de Clase B según el código ACI 318.³ Si los voladizos no están diseñados como autoportantes, las cargas se acumularán en puntales temporales, al igual que lo hacen en la ubicación de un cuarto de tramo. Por lo tanto, ubicar una tira de vertido en el medio del tramo provee ventajas de construcción solo si los voladizos están diseñados como autoportantes (con una pequeña prima para refuerzo adicional). Se requiere reubicación, pero solo para soportar el peso de la losa que se va a moldear, y sus cargas de construcción asociadas.

No se requiere puntales temporales, y las cargas no son acumulativas. Además, la reubicación puede ser terminada cuando la estructura del piso debajo pueda soportar un nivel de peso propio y cargas de construcción.

Debido a estas ventajas, la mayoría de los contratistas prefieren la ubicación a mitad de tramo para las tiras de vertido, con cada voladizo diseñado como autoportante. Este sistema permite la solución de recimbrado en lugar de la solución de mayor capacidad de puntales temporales (es decir, muchos más puntales) que deben permanecer en su lugar hasta la finalización de la estructura de concreto.

Soluciones alternas

Un artículo reciente provee los conocimientos de un diseñador de encofrados sobre puntales temporales y reapuntalamiento,⁴ proponiendo que una tira de vertido ancha facilitará la creación de losas en voladizos autoportantes, permitiendo así el recimbrado en lugar de utilización de puntales temporales. Otra opción es lo que llamamos una “tira de vertido sin espacios” (Fig. 2(c)).

Mientras que el término tira de vertido sin espacios podría ser considerada como un oxímoron, esta provee una buena descripción de esta forma de junta de alivio de tensión. Una tira de vertido sin espacios no requiere una abertura en la estructura del piso, por lo que puede mejorar en gran medida la seguridad en el lugar de trabajo al eliminar las aberturas y los cambios de elevación. Además, una tira de vertido sin espacios elimina lo que la mayoría de los contratistas de concreto dicen que es el concreto más costoso (por unidad) en un proyecto—la colocación del cierre (Fig.1 (b)). Sin embargo, lo que es aún más significativo, la tira de vertido sin espacios elimina las molestias, las demoras y los peligros de seguridad asociados con el movimiento de equipos, materiales y personal sobre un espacio y a través del apuntalamiento denso requerido para muchas tiras de vertido estándar (Fig. 1(a)).

Una tira de vertido sin espacio también necesitará un cambio en las operaciones normales para la construcción PT. La falta de un espacio significará que los tendones en la segunda losa no se pueden tensar en la junta. En otras palabras, se necesitarán anclajes sin salida en esa ubicación. Afortunadamente, el contratista puede determinar las secuencias de colocación y tensado sin afectar el diseño estructural.

Para crear una tira de vertido sin espacios, se requiere algún tipo de dispositivo en la junta de alivio de tensión. Este dispositivo debe ser capaz de transferir fuerzas a través de la junta después que se haya colocado la segunda losa en la junta y haya pasado suficiente tiempo para que ocurra la mayor parte del cambio de volumen. Nosotros clasificamos estos dispositivos como espigos y acoples mecánicos. El primero está diseñado para transferir fuerzas cortantes, y el segundo está diseñado para transferir fuerzas cortantes y de tracción a través de la junta.



Fig.3 El Sistema de Empalme Mecánico de Barras de Refuerzo PS=Ø puede asegurar continuidad dúctil y una tira de vertido sin espacios.

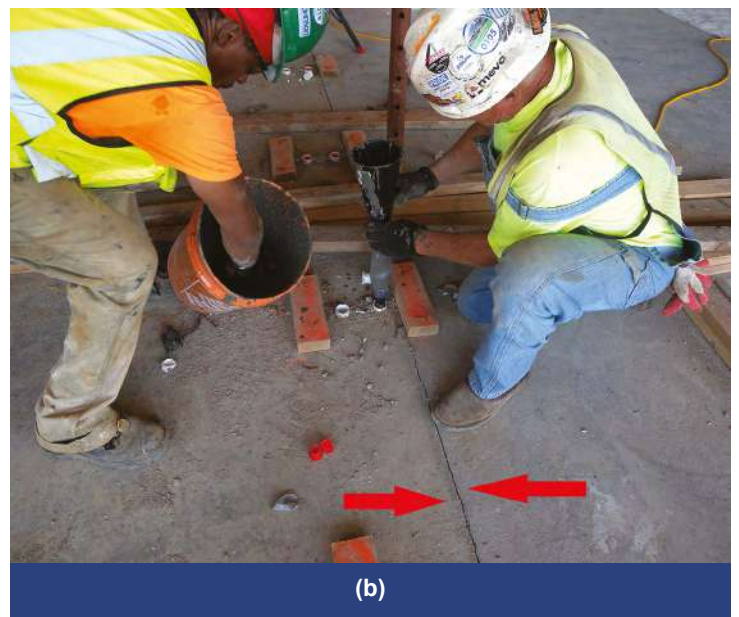


Fig.4 El acoplador mecánico PS=Ø permite que los contratistas produzcan tiras de vertido sin espacios: (a) los acopladores están adjuntos al encofrado en una junta de construcción antes de colocar la primera losa en la junta (aquí, mostrado en un módulo ancho de colocación de viguetas); y (b) una vez haya pasado el tiempo especificado después de la colocación de la segunda losa en la junta, los trabajadores colocan lechada de muy alta resistencia en acopladores mecánicos PS=Ø. Las flechas rojas indican la junta abierta que se rellenará con concreto que coincida con la resistencia de la losa.

Espigos asegurables

El espigo asegurado está diseñado para transferir fuerzas cortantes y al mismo tiempo permitir el movimiento horizontal hasta que se asegure con un relleno epóxico. Este tipo de dispositivo no proporciona la continuidad de la cuerda de diafragma dúctil requerida de las barras de refuerzo. Además, debido a que la continuidad de la cuerda de diafragma se interrumpirá en la tira de vertido, el diseñador podría necesitar agregar elementos laterales resistentes de fuerza para compensar la interrupción. En otras palabras, una tira de vertido sin espacios creada usando espigos asegurados, se comportará como una junta de expansión, creando dos estructuras independientes. Como resultado, este dispositivo debe adaptarse al diseño estructural original.

Acoples mecánicos

Nuestra empresa ha desarrollado el Sistema de Empalme Mecánico de Barras de Refuerzo PS=Ø® (Fig.2 (c) y Fig. 3), que permite el libre movimiento en la junta de alivio de tensión hasta que el acoplador se enlecha con una lechada de concreto de muy alta resistencia (Fig. 4). El sistema PS=Ø utiliza tecnologías de acopladores probadas que se han utilizadas mundialmente durante décadas. Con un extremo roscado y una manga llena de lechada, este sistema está listado en ICC ESR-4213⁵ como que cumple con los requisitos de empalme mecánico ACI 318 Tipo 1 y Tipo 2 para barras de refuerzo deformadas, y cumple con los códigos de construcción de Florida y California. El sistema PS=Ø continúa una larga y exitosa historia de acopladores de empalmes mecánicos de barras de refuerzo, proporcionando continuidad dúctil en innumerables aplicaciones sísmicas en todo el mundo.

Cuando se utiliza con llaves de cortes formadas en el concreto y/o utilizando fricción cortante, este acoplador mecánico resulta en una continuidad tanto de corte como de movimiento a través de una junta de alivio de tensión.

El acoplador también proporciona la continuidad de una cuerda de diafragma dúctil requerida de las barras de refuerzo. Además, debido a que el acoplador de PS=Ø es de acero de hierro fundido dúctil relleno con lechada de concreto, y el espacio está relleno de concreto, todas las clasificaciones de resistencia al fuego se mantienen simplemente usando la misma cubierta que se requiere para las barras de refuerzo de acero por el Código Internacional de Construcción.

El sistema permite flexibilidad en cuanto a la localización de la junta de alivio de tensión. Si la junta está localizada a un cuarto del tramo (donde un voladizo autoportante es muy largo para ser práctico), puntales temporales son tradicionalmente necesarios. Con el sistema PS=Ø, movimiento del espigo antes del enlechado crea un voladizo apuntalado el cual es autoportante y solo requiere recimbrado. Sin embargo, si la junta se encuentra a medio tramo se puede generar una oportunidad de crear voladizos autoportantes de tal manera que se elimine la necesidad de puntales temporales en niveles inferiores (Fig. 2(c)). Agraciadamente es relativamente sencillo que en la construcción PT se diseñe un voladizo autoportante, con una tira de vertido (junta de alivio de tensión) localizado a medio tramo. Además, cuando una tira de vertido es necesaria para los esfuerzos (en una localidad interior), con PS=Ø, la tira de vertido se puede fundir inmediatamente luego de esforzar la segunda losa, nuevamente logrando una tira de vertido sin espacios. Una aplicación similar está disponible para las paredes inferiores con un agujero ranurado en el acoplador del PS=Ø que permite movimiento longitudinal y transversal.

Ya que el rediseño no es requerido, con relación al tiempo de instalación, muchos acopladores de PS=Ø han sido instalados tarde en el proyecto para mejorar el itinerario. Nunca es tarde para incorporar el sistema PS=Ø aunque el último piso sea el único por fundir.

Con la tira de vertido ubicada a medio tramo, el sistema PS=Ø tienen todas las características y el comportamiento de ingeniería esperado como la tira de vertido tradicional (con empalmes de solapes para continuidad) pero sin el espacio. El único refuerzo de flexión requerido a medio tramo es en las barras inferiores necesarias de tal manera que provean la capacidad de momento positivo requerido a medio tramo.

La conclusión general del sistema PS=Ø es poder hacer una tira de vertido tanto a un cuarto de tramo como también a medio tramo. La ventaja de estar localizado a un cuarto de tramo es no tener tendones PT adicionales y menos acopladores PS=Ø, mientras que si el diseño original requiere una tira de vertido a medio tramo (ya que es lo más económico para una tira de vertido tradicional), ningún rediseño es requerido, aunque implique un costo mayor por el post-tensionado adicional. En ninguno de los casos puntales temporales es requerido, y beneficios en costos, tiempo y seguridad son alcanzados con cualquiera de las localizaciones.

—PS=Ø, www.pourstrip0.com

Reconocimientos

Gracias al Miembro Honorario de la ACI William Gamble por su revisión y aportación durante el desarrollo del Sistema de Empalme Mecánico de Barras de Refuerzo PS=Ø®.

Referencias

1. Allred, B., "Issues in Post-Tensioned Construction," Concrete Construction, Jan. 2006, www.concreteconstruction.net/how-to/construction/issues-in-post-tensioned-construction_o.
2. ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete (ACI 347R-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 36 pp.

3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 623 pp.
4. Bordner Tanck, M., "Pour Strips and Constructability," Structure Magazine, Apr. 2014, pp. 46-47
5. ICC-Evaluation Report ESR-4213, "PS=Ø Steel Reinforcement Splice System for Steel Reinforcing Bars," ICC-Evaluation Service, LLC, Country Club Hills, IL, USA, Mar. 2019, 6 pp.



Gordon H. Reigstad es el presidente de Reigstad & Associates, Inc., Saint Paul, MN, USA. Tiene sobre 47 años de experiencia en diseño e ingeniería estructural. Reigstad tiene cuatro patentes enfocadas en la construcción de concreto reforzado y postensado, y actualmente sirve en el Grupo de Trabajo de la Junta de ACI sobre Productividad en la Construcción de Concreto. Recibió su PhD en ingeniería estructural de la Universidad de Minnesota Twin Cities, Minneapolis y St. Paul, MN, y es miembro del Comité de Planificación de la Serie Anual de Seminarios de Ingeniería Estructural de la Universidad de Minnesota.



Jason G. Reigstad, es el vicepresidente en Reigstad & Associates, Inc. Ha estado involucrado en la evaluación y restauración de estructuras de estacionamiento por más de 30 años y al mismo tiempo realizar la administración de construcción en el sitio en estructuras a gran escala en todo el país. Engineering News-Record lo nombró uno de los "Top 25 Newsmakers" del 2017 por su trabajo en la investigación de estructuras de estacionamiento de doble T reforzadas con rejilla de carbono, y actualmente se desempeña en el Comité ACI 347, Encofrado Para Concreto. Recibió su licenciatura de ingeniería civil de la Universidad de Dakota del Norte, Grand Forks, ND, EE. UU.



Jared M. Reigstad es el vicepresidente en Reigstad & Associates, Inc. Tiene sobre 17 años de experiencia en diseño e ingeniería estructural. Supervisa las operaciones en Reigstad, incluidos los departamentos de ingeniería estructural e ingeniería de prefabricados, y actualmente forma parte del Comité Conjunto ACI-PCI 319, Código de Concreto Estructural Prefabricado. Recibió su licenciatura en ingeniería civil del Instituto Politécnico Rensselaer, Troy, NY, EE. UU., y su MCE de la Universidad de Norwich, Northfield, VT, EE. UU., Donde es profesor adjunto en el programa de Maestría en Ingeniería Civil.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Puerto Rico

Título: Diseñar para la productividad y seguridad de la construcción



*Traductor:
Nicole Mejía Borrero.*



*Revisor Técnico:
Anabel N. Merejildo.*