

Minimum Lap Splice Length for WWR

Q. We recently completed a slab-on-ground project. After we placed the specified plain welded wire reinforcement (WWR) with a one-square lap (Fig. 1(a)), the owner's inspector rejected the placement because the laps did not comply with Section 25.5.4.1(a) of ACI 318-19.¹ The notice included a sketch of the inspector's expectation (Fig. 1(b)). The contract documents were silent regarding minimum lap splice length for WWR, so we asked the structural engineer of record (EOR) for clarification. The EOR stated that the slab was not a part of the building's lateral force-resisting system and so its design was not governed by ACI 318. The EOR then instructed the inspector to allow the laps as installed. That crisis was averted, but we have a policy of alerting our team members of potential issues for future projects. Could you discuss the splice requirements for WWR in slabs-on-ground per ACI 318-19 and per ACI 301-20?² Is there a possibility of concrete cracking at WWR lap locations?

A. We understand that the slab-on-ground was not required to meet ACI 318, and the EOR directed the inspector to accept the reinforcing as installed (with a one-square lap). But even if the slab-on-ground had been required to meet ACI 318-19, that lap may have been adequate. Provision 25.5.4.2 of the Code requires a tension lap splice

length l_{st} measured between outermost crosswires of each plain WWR sheet (not the second crosswire of each sheet) if the ratio of the $A_{s,provided}/A_{s,required} \geq 2.0$ over the length of the splice. This is the key!

If $A_{s,provided}/A_{s,required} < 2.0$, Provision 25.5.4.1 requires the lap splice length for plain WWR to be at least the greatest of $s + 2$ in., $1.5l_d$ (where l_d is the development length in tension), or 6 in. (Fig. 2). This is apparently what the inspector expected to see.

If $A_{s,provided}/A_{s,required} \geq 2.0$, Provision 25.5.4.2 applies and the required minimum lap splice length has to be the greater of $1.5l_d$ or 2 in. (Fig. 3). The

provision also directs the user to Section 25.4.7.2(b) for the calculation of l_d

$$l_d = 0.27 \left(\frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) \left(\frac{A_b}{s} \right)$$

where s is the spacing between the wires to be developed and λ is given in Table 25.4.2.5.

For example, for 6x6-W2.9xW2.9 WWR made of 60 ksi steel placed in 4000 psi normalweight concrete, l_d is 1.24 in. Therefore, according to ACI 318-19, Provision 25.5.4.2, because $1.5l_d = 1.86$ in., a 2 in. minimum lap splice length is needed between the outermost crosswires of each reinforcing

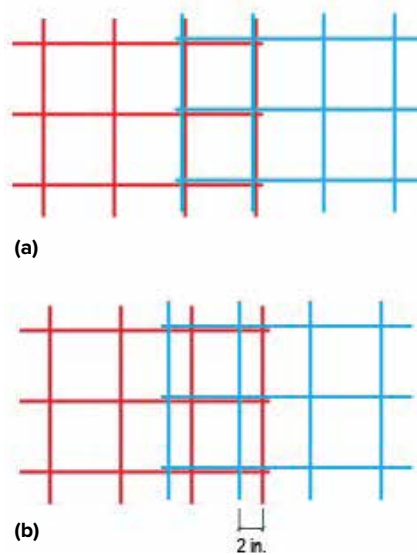


Fig. 1: Lap splice lengths for WWR: (a) what was provided; and (b) what the inspector expected

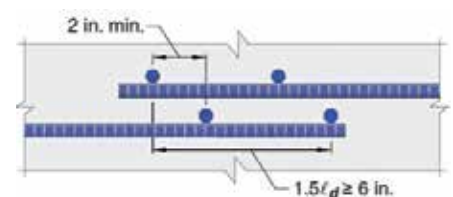


Fig. 2: Lap splices of plain WWR where $A_{s,provided}/A_{s,required} < 2.0$ (based on Fig. R25.5.4.1 in ACI 318-19)

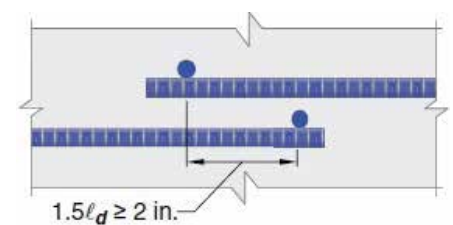


Fig. 3: Lap splices of plain WWR where $A_{s,provided}/A_{s,required} \geq 2.0$ (based on Fig. R25.5.4.2 in ACI 318-19)

sheet (not between the second crosswires of each reinforcing sheet). Note that plain WWR normally comprises steel with 65 ksi yield strength. In that case, $1.5l_d = 2.0$ in.

Therefore, the lap as is commonly installed in slabs-on-ground (Fig. 1(a)), as well as the 2 in. minimum overlap required by ACI 301-20, Section 3.3.2.5(a), both satisfy the minimum lap splice required by ACI 318-19, Section 25.5.4.2, for 6x6-W2.9xW2.9 WWR, as long as the engineer states that $A_{s,provided}/A_{s,required} \geq 2.0$ over the length of the splice and the slab-on-ground joint spacing addresses slab shrinkage and temperature changes.

We suggest that ACI Committee 301 revise the relevant Optional Requirements Checklist item in the next revision of the specification, indicating that the 2 in. specified minimum overlap meets ACI 318-19 for W2.9 wires and smaller only if $A_{s,provided}/A_{s,required} \geq 2.0$ over the length of the splice.

It should be noted that ACI 301-20, Section 3.3.2.5(a) also requires WWR with smaller than W4.0 or D4.0 wires to have continuous support spacing not to exceed 12 in. The Mandatory Requirements Checklist item for Section 3.3.2.5(a) further requires the designer to specify the location and placement tolerance of WWR within the slab depth. This is important because the tolerances for fabrication, placement, and lap splices for WWR are not covered by ACI 117.³

In addition, the Optional Requirements Checklist item for Section 3.3.2.5(a) recommends specifying where WWR may extend through movement joints (including sawcut joints) as well as an alternative method of lapping at edges and ends of WWR, and that item refers to the Wire Reinforcement Institute (WRI) manual⁴ for additional guidance. Lastly, note that the WRI website provides a lap splice calculator for reinforcement with wires equal to and

greater than W4.0 or D4.0 (www.wirereinforcementinstitute.org/resources/tools/lap-splice-calculator).

Crack width control

According to Section 8.3 of ACI 360R,⁵ the area of steel reinforcement recommended for crack width control, to eliminate sawcut contraction joints, is a continuous minimum ratio of 0.5% of the cross-sectional area of a slab-on-ground. For this design, sawcut contraction joints are not used because tight but visible cracks are expected to accommodate the shrinkage and thermal movement that is typically contained by the sawcut contraction joints for a properly jointed slab. ACI 360R, Section 6.2, also includes guidance on achieving enhanced aggregate interlock by continuing a small percentage of deformed reinforcement (0.1% of the slab cross-sectional area) through sawcut contraction joints in combination with the recommended joint spacing. This smaller amount of reinforcement will allow joints to activate (crack beneath the sawcut) and widen slightly while still maintaining aggregate-interlock load transfer and joint stability.

Cracking at lap locations is not typical at these lower percentages of reinforcement. Historically, because of the lower percentages of reinforcement, the lap locations have not been coordinated with the sawcut contraction joints and little if any cracking has been observed related to the lap locations.

ACI 360R recommends that designers avoid specifying between 0.1 and 0.5% reinforcing in slabs-on-ground, as this increases the risk of random out-of-joint cracks, which most owners object to viewing, and because this reinforcing isn't sufficient to hold cracks tight enough to avoid the need for filling. With reinforcement in this range, cracks can widen and require maintenance to prevent deterioration from wheel traffic.⁶ Note that this range

of reinforcing includes the minimum temperature/shrinkage reinforcement (0.18%) required by ACI 318 if used for portland cement and a jointed slab.

If designing per ACI 318 is required and anticipated, wheels may cause crack deterioration. One option would be to increase the amount of steel to 0.50% and eliminate sawcut contraction joints so the cracks remain tight enough that filling isn't required. Owners should be advised, however, that frequently spaced and visible cracking is expected.

References

1. 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.
2. ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.
3. ACI Committee 117, "Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-10) and Commentary (ACI 117R-10) (Reapproved 2015)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp.
4. *Manual of Standard Practice: Structural Welded Wire Reinforcement*, ninth edition, Wire Reinforcement Institute, Inc., 2016, 52 pp.
5. ACI Committee 360, "Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.
6. Walker, W.W., and Holland, J.A., "Stay out of the Courthouse Zone," *Engineering Bulletin*, Structural Services, Inc., 4 pp., www.ssiteam.com/publications (accessed June 15, 2021).

Thanks to Scott M. Tarr, North S.Tarr Concrete Consulting, P.C., Dover, NH, USA, Chair of ACI Committee 360, Design of Slabs on Ground, and Wayne W. Walker, Structural Services, Inc, Norcross, GA, USA, for providing the answers to these questions.

Concreto P y R

Longitud Mínima de Traslape para Refuerzo Electrosoldado de Alambre

P.

Recientemente completamos un proyecto de una losa en suelo. Luego de colocar el refuerzo electrosoldado de alambre (WWR por sus siglas en inglés) con un cuadro de traslape (Fig. 1(a)), la inspección de parte del dueño del proyecto rechazó la configuración ya que el traslape no cumplía con la Sección 25.5.4.1 (a) de la ACI 318-19.¹ La notificación incluyó una ilustración por el inspector con su expectativa (Fig. 1 (b)). Los documentos de contrato no mencionaban nada sobre la longitud de traslape para refuerzo electrosoldado de alambre, por lo cual se le preguntó al ingeniero estructural de récord (IER) para clarificar la duda. El IER indicó que la losa no era parte del sistema de resistencia de esfuerzo lateral del edificio, por ende, el diseño no está gobernado por el ACI 318. Por esta razón el IER instruyó al inspector en permitir los traslapes tal como se instalaron. La crisis fue evitada, pero nosotros tenemos una política de alertar a nuestros compañeros de la industria de posibles problemas en futuros proyectos. ¿Ustedes podrían discutir los requisitos de traslape para refuerzo electrosoldado de alambre en losas de piso de acuerdo al ACI 318-19 y ACI 301-20?² ¿Existe la posibilidad de agrietamiento donde se encuentran el traslape de refuerzo electrosoldado de alambre?

R.

Entendemos que la losa de piso no estaba requerida a cumplir con el ACI 318, y el IER dirigió al inspector en aceptar el refuerzo tal como fue instalado (con un cuadro de traslape).

Aun así que fuera un requisito el tener que cumplir con el ACI 318-19, el traslape hubiera sido adecuado. La disposición de la sección 25.5.4.2 del Código requiere una longitud l_{st} de tensión de traslape medido entre los cruces más limitantes de cada hoja de refuerzo electrosoldado de alambre (no el segundo cruce de cada hoja) si la relación de $A_{s,provisto} / A_{s,requerido} \geq 2.0$ sobre la longitud del traslape. ¡Esta es la clave!

Si $A_{s,provisto} / A_{s,requerido} < 2.0$, la disposición de la sección 25.5.4.1 y la longitud de traslape sobre el refuerzo electrosoldado de alambre simple sea al menos la mayor de $s+2$ pulgadas, $1.5l_d$ (donde l_d es la longitud de desarrollo de tensión), o 6 pulgadas (Fig 2). Esto es lo que aparentemente el inspector esperaba ver.

Si $A_{s,provisto} / A_{s,requerido} \geq 2.0$, se aplica la Provisión 25.5.4.2 y la longitud mínima de traslape requerida tiene que ser mayor a $1.5l_d$ o 2 pulgadas. (Fig. 3). Donde S es el espacio para desarrollarse entre los alambres y λ es dado en la Tabla 25.4.2.5.

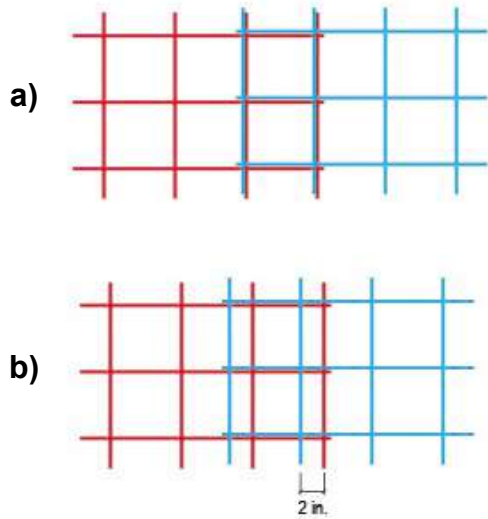


Fig. 1. Longitudes de traslape para refuerzo electrosoldado de alambre (WWR): (a) lo que proporcionarán; y (b) lo que el esperaba el inspector

La disposición también dirige al usuario a la sección 25.4.7.2(b) para el cálculo de l_d

$$l_d = 0.27 \left(\frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) \left(\frac{A_b}{s} \right)$$

Por ejemplo, para refuerzo electrosoldado de alambre 6x6-W2.9xW2.9 hecho en acero de 60ksi colocado en concreto 4000psi, l_d es 1.24 pulgadas. Por lo tanto, de acuerdo con el ACI 318-19, sección 25.5.4.2, ya que $1.5l_d = 1.86$ pulgadas, una longitud mínima de traslape de 2 pulgadas es requerida en los cruces limitantes de cada hoja de refuerzo (no en el segundo cruce de cada hoja de refuerzo). Se hace nota que una hoja simple de refuerzo electrosoldado de alambre está compuesta de acero con capacidad de esfuerzo de 65ksi. En este caso, $1.5l_d = 2$ pulgadas.

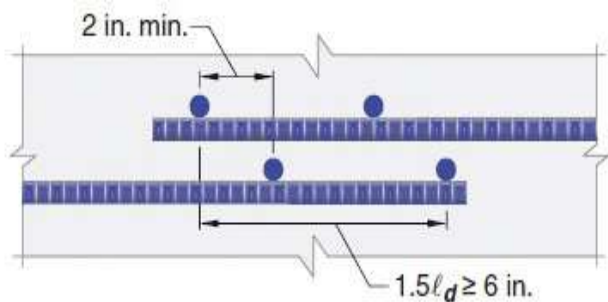


Fig. 2. Traslapes de WWR simples, donde $A_{s,provisto} / A_{s,requerido} < 2.0$ (basado en la Fig. R25.5.4.1 en ACI 318-19)

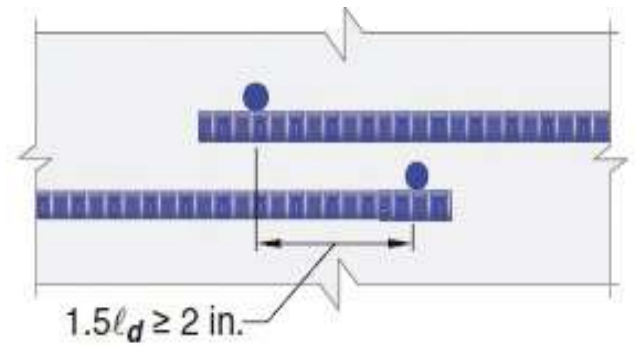


Fig. 3. Traslapes de WWR simples, donde $A_{s,provisto} / A_{s,requerido} \geq 2.0$ (basado en la Fig. R25.5.4.2 en ACI 318-19)

De esta manera, el traslape como es instalado usualmente en losas de piso (Fig. 1(a)), y las 2 pulgadas mínimas de traslape requerida por la ACI 301-20, Sección 3.3.2.5(a), ambas cumplen con el traslape mínimo requerido por la ACI 318-19, Sección 25.5.4.2, para refuerzo electrosoldado de alambre 6x6-W2.9xW2.9, siempre y cuando el ingeniero especifique que $A_{s,provisto} / A_{s,requerido} \geq 2.0$ sobre la longitud de traslape y el espaciamiento de juntas en la losa de piso atiende a los cambios por contracción y temperatura de la losa.

Recomendamos que el Comité ACI 301 revise en su próxima versión la Hoja de Cotejo de Requisitos Opcionales con relevancia al artículo, indicando que el traslape mínimo de 2 pulgadas especificado cumple con el ACI 318-19 para alambres W2.9 y menores solo si $A_{s,provisto} / A_{s,requerido} > 2.0$ sobre la longitud de traslape.

Se hace nota que la Sección 3.3.2.5(a) de la ACI 301-20, también requiere que refuerzo electrosoldado de alambre con alambres menores de W4.0 o D4.0 tengan un espaciamiento de soporte a no más de 12 pulgadas.

El artículo para la sección 3.3.2.5(a) en la Hoja de Cotejo de Requisitos Mandatorios también requiere que el diseñador especifique la localización y tolerancia a colocación del refuerzo electrosoldado de alambre dentro del espesor de la losa. Esto es importante ya que la tolerancia para fabricación, colocación y traslapes para refuerzo electrosoldado de alambre no están cubiertos en el ACI 117.³

Además, el artículo para la Sección 3.3.2.5(a) en la Hoja de Cotejo de Requisitos Opcionales recomienda especificar donde el refuerzo electrosoldado de alambre se extenderá por juntas de movimiento (incluyendo juntas por cortes de sierra) al igual que métodos alternos para solapar a los extremos o esquinas de refuerzo electrosoldado de alambre, y este artículo también hace referencia al manual del Instituto de Refuerzos por Malla Metálica⁴ (WRI por sus siglas en inglés) para más información.

Por último, se hace nota que la página web de la WRI provee una calculadora de traslape para refuerzo con alambres iguales o mayor a W4.0 o D4.0 (www.wirereinforcementinstitute.org/resources/tools/lap-splice-calculator).

Control de grosor de fisuras

De acuerdo con la Sección 8.3 de la ACI 360R,⁵ el área de acero recomendado para el control de grosor de fisuras, para eliminar juntas de contracción por cortes de sierra, es una relación mínima constante de 0.5% de la sección de la losa de piso. Para este diseño, juntas de contracción por cortes de sierra son utilizados a causa de fisuras visibles esperadas, por el comportamiento en contracción y movimiento termal que típicamente se encuentran en las juntas de contracción por cortes de sierra en una losa apropiadamente diseñada.

La sección 6.2 de la ACI 360R, también incluye una orientación de como mejorar el entrelazado de agregados con la continuación mínima (0.1% del área seccional de la losa) de refuerzo deformado a través de las juntas de contracción por cortes de sierra con el espaciamiento recomendado de juntas.

Esta porción pequeña de refuerzo permitirá la activación de las juntas (romper por debajo del corte de sierra) y ampliación de las fisuras aun manteniendo la transferencia de cargas por agregados y estabilidad de juntas.

El agrietamiento en lugares de traslape con refuerzo mínimo no es típico. Históricamente, debido al leve porcentaje de refuerzo en lugares de traslape, estos no han sido coordinados con juntas por cortes de sierra y no se han observado fisuras relacionadas a la localización de traslapes.

El ACI 360 recomienda a los diseñadores no especificar refuerzo entre 0.1 y 0.5% en losas de piso, ya que esto incrementa el riesgo de agrietamiento fuera de las juntas, y estos no son aceptados por la mayoría de los dueños, y este refuerzo no es suficiente para aguantar la fisuras y evitar tener que rellenarlas. Con este rango de refuerzo, el agrietamiento puede incrementary requerir mantenimiento para la prevención de deterioro por tráfico vehicular.⁶ Observa que este rango de refuerzo incluye el mínimo por temperatura y contracción (0.18%) requerido por el ACI 318 si es utilizado para cemento portland y una losa adjunta.

Si se requiere y se anticipa un diseño bajo el ACI 318, el rodaje pudiera causar deterioro de las fisuras. Una opción sería aumentar la cantidad de acero a 0.50% y eliminar las juntas de contracción por cortes de sierra, de tal manera que las fisuras se mantengan cerradas y no haya necesidad de rellenar. Se le advierte de todos modos a los dueños que agrietamiento visible y frecuentemente espaciado es de esperarse.

Referencia

1. **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. 2. **ACI Committee 301, “Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20),”** American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp. 3. **ACI Committee 117, “Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-10) and Commentary (ACI 117R-10) (Reapproved 2015),”** American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp. 4. **Manual of Standard Practice: Structural Welded Wire Reinforcement, ninth edition,** Wire Reinforcement Institute, Inc., 2016, 52 pp. 5. **ACI Committee 360, “Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10),”** American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp. 6. Walker, W.W., and Holland, J.A., “Stay out of the Courthouse Zone,” *Engineering Bulletin*, Structural Services, Inc., 4 pp., www.ssiteam.com/publications (accessed June 15, 2021)

Gracias a Scott M. Tarr, North S.Tarr Concrete Consulting, P.C., Dover, NH, USA, Chair of ACI Committee 360, Design of Slabs on Ground, and Wayne W. Walker, Structural Services, Inc, Norcross, GA, USA, por proveer las respuestas a estas preguntas.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Puerto Rico

Título: Concreto P y R



Traductor: Ing. José M. Mejía Borrero



Revisor Técnico: Ing. Rubén Segarra Montelara