

## Design and Construction of Slabs-on-Ground

### Applying ACI 318

**Q.** *Can I use ACI 318 to design slabs-on-ground?*

**A.** The simple answer is no. If the slab-on-ground is not relied upon to carry loads from the building structure, the ACI 318 Building Code does not cover the design. Section 1.4.8 in ACI 318-19<sup>1</sup> states: “This Code does not apply to design and construction of slabs-on-ground, unless the slab transmits vertical loads or lateral forces from other portions of the structure to the soil.” Many people incorrectly infer that this means slabs-on-ground are not structural and do not have to be designed by a licensed engineer.

If slabs don’t carry loads from the building structure, ACI 318 doesn’t apply, but industrial floor slabs-on-ground often carry tremendous loads and need to be properly designed to have adequate structural capacity and serviceability. These loads may not affect the portions of the building governed by ACI 318, but most local building codes require all building components or systems, including floors, to be designed by an engineer licensed in the project jurisdiction for liability and permitting purposes. Most owners also want to be sure the floor designer is covered by professional liability insurance in case of design errors or omissions.

ACI 360R-10<sup>2</sup> is a major resource covering design of slabs-on-ground. However, it is not a code, so many engineers do use portions of ACI 318 on their projects. For example, many will follow strength compliance requirements provided in Section 26.12.3.1 of ACI 318 because it establishes reasonable acceptance criteria very applicable to floor slabs. Until there is a standard for the design of slabs-on-ground, it’s inevitable that portions of ACI 318 will be used on some projects.

### Minimum Reinforcement

**Q.** *What is the minimum reinforcement required for slabs-on-ground?*

**A.** Slabs-on-ground can be designed unreinforced. When reinforcement is needed, ACI 360R-10 recommends slabs-on-ground be reinforced with either <0.1% steel (enhanced aggregate interlock) per Section 6.2, or >0.5% steel (continually reinforced) as described in Section 8.3. Having <0.1% steel allows sawed contraction joints to activate and widen enough to avoid random out-of-

joint cracking. Having >0.5% steel allows the formation of tight, closely spaced cracks without the need for saw-cutting joints. Between 0.1 and 0.5% slab reinforcement, there is a risk of random (out-of-joint) cracking, and the steel percentage is not enough to hold cracks sufficiently tight to minimize the potential deterioration (spalling) if small, hard-wheeled material handling equipment is used. Cracking may not be problematic if small, hard wheels aren’t used (assuming visible cracking is acceptable to the owner). However, wide cracks, if they’re loaded by small, hard wheels, require filling like sawed joints.

Unfortunately, because many designers do not realize that ACI 318 doesn’t apply to slabs-on-ground, it is common to see 0.18% reinforcing steel specified, as this is the minimum shrinkage and temperature reinforcement required by ACI 318, Provision 24.4.3.2, for structural slabs. We have had to explain this when random cracking occurs, and owners view random cracks as a failure. If a slab is required as anchorage to tilt-up wall panels or sandwich panels or as a diaphragm and needs to be designed per ACI 318 (refer to Tarr et al.<sup>3</sup>), including the minimum of 0.18% steel is understandable, but ACI 360R, Section 8.3, recommends the “minimum” of 0.5% reinforcement if serviceable cracking is desired. With 0.5% steel, cracks will be visible but won’t require maintenance similar to joints, which are substantially easier to fill properly. Just be aware that using 0.18% reinforcement can result in very costly maintenance issues for industrial slabs. In fact, we often consider industrial floors designed with reinforcing between 0.1 and 0.5% to be “legalcrete” because these slabs are such maintenance problems and they can lead to litigation.

In summary, for industrial slabs that carry distribution equipment (such as forklifts and carts), the crack width is very important. Either reinforce them so cracking only occurs beneath saw-cut joints or reinforce them so random cracks stay tight, but do not use intermediate levels of reinforcing such as the minimum required by ACI 318.

### Hard Troweling and Air Content

**Q.** *Can concrete with a total air content exceeding 3% be hard troweled successfully?*

**A.** The 3% total air content limit for concrete to receive a hard-trowel finish is a requirement in Sections 4.2.2.4(d), 5.3.4.2(c), 10.2.2.1, and 11.2.2.1 of ACI 301-20.<sup>4</sup> The intent of this limit is to minimize

# Concrete Q&A

the risk of delamination occurring during the finishing operation. We have seen that “troweling” is not the only finishing step that causes blisters and delaminations. Floating operations can also cause damage. The explanation for the damage is that the finishing operations coalesce small air voids into larger voids that can form lenses beneath the finished surface, leading to blisters. Repetitive troweling tends to compress these larger voids into elongated lenses, resulting in delaminations.

It is VERY risky to hard trowel any concrete with a total air content greater than 3%, and the risk increases with increased air content. We have seen concrete with greater than 3% air finished successfully, especially in favorable ambient conditions and when mixtures contain lightweight coarse aggregate, which reduces the risk somewhat by reducing the amount of bleedwater and bleed air forced to the slab surface. However, the risk still exists, even in lightweight concrete, and when the air exceeds 6%, the risk is extremely high.

In addition to air content, other factors such as setting time, ambient conditions, and differential set (crusting) that impact bleed and set all combine to increase the risk of blisters and delamination. If concrete finishers cannot time the operations consistently, they should not be held responsible when directed to machine finish air-entrained concrete.

## Exposure Conditions

**Q.** *What can be done to protect slabs-on-ground that will be subject to various exposure conditions as defined in ACI 318?*

**A.** As previously noted, air-entrained concrete should never be hard-trowel finished. The 3% limit on total air content protects against the risk of blisters and delaminations if machine finishing is desired. If more air is needed, the surface should be broom finished like a pavement. This might apply to a parking structure floor. Therefore, exposure to freezing and thawing (Exposure Category F in ACI 318) can create a challenge if the slab is to receive a hard-trowel finish. When early spring project delivery dates are requested, some contractors have successfully placed non-air-entrained interior floor slabs in late fall, and these have been exposed to winter conditions prior to building enclosure. The key is to prevent ponding on the hardened slabs. Non-air-entrained concrete that is dry can freeze and thaw without damage, whereas concrete at or above critical saturation cannot. Slabs have been observed with scaling damage within the perimeter of a ponded area, yet with no surface damage at all immediately outside of the ponded area.

Removing ponds and puddles from the concrete surface is obviously much easier said than done. However, if crews are diligent, freezing-and-thawing damage can be limited or

prevented. A hard-troweled surface is very dense and not very porous, so it may be possible to remove water before it can penetrate and resaturate the concrete. However, the risk of freezing-and-thawing damage must always be considered.

In addition, an effective vapor retarder should be used for slabs-on-ground placed in contact with water or exposed to sulfates (Exposure Class W or S per ACI 318, respectively). Based on experience and testing, vapor retarders do not cause curling of slabs; they decrease curling. The finisher needs to deal with prolonged bleeding, but it’s easier to deal with slab finishing during placement than other long-term service life issues. We now typically recommend vapor retarders under the entire floor slab and not just office areas designated to receive floor coverings. The benefits of reduced curl and reduced risk of sweating and damaging stored products is often worth it.

When it comes to exposure to moisture and chlorides (Exposure Class C per ACI 318), slabs-on-ground without an effective vapor retarder under the concrete should be assumed to be wet (saturated) in service. The exposed surface may appear dry; however, moisture can move vertically upward from the groundwater table into the slab. A densified hard-troweled surface slows the transmission rate, and it can condense the vapor to a liquid within the concrete pore structure. This can impact the susceptibility to freezing-and-thawing damage and/or corrosion of reinforcing steel. For concrete slabs wet in service, the amount of allowable chloride ions in Table 4.2.2.6(e) of ACI 301 must be considered if steel reinforcement is used. This can have a significant impact on the allowable dosage of chloride-based accelerators during concrete placement. Subsequent to placement, hard-troweled interior floor slabs are usually not treated topically with chloride-based deicing chemicals, but parking structure floors can be and, therefore, may require air entrainment and broom texturing as opposed to machine finishing.

## 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 360, “Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.
3. Tarr, S.M.; Sheehan, M.J.; and Van Duyne, E.J., “Considerations for Precast Concrete Panels Tied to Slabs-on-Ground,” *Concrete International*, V. 42, No. 1, Jan. 2020, pp. 31-35.
4. ACI Committee 301, “Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.

Thanks to Scott M. Tarr, North S.Tarr Concrete Consulting, P.C., Dover, NH, USA, for providing the answers to these questions.

# Concreto

## Preguntas y Respuestas

### Diseño y Construcción de losas sobre el terreno

#### Alcance de ACI 318

**P. ¿Se puede usar ACI 318 para el diseño de losas sobre el terreno?**

R. La respuesta simple es no. Si la losa sobre el terreno no forma parte del sistema estructural que traslada las cargas del edificio hacia sus fundaciones, el Reglamento ACI 318 no cubre su diseño. La Sección 1.4.8 del ACI 318-19<sup>1</sup> establece lo siguiente: “Este Reglamento no es aplicable al diseño y construcción de losas sobre el terreno a menos que la losa tenga la función de transmitir fuerzas verticales o laterales desde otras partes de la estructura al terreno”. Muchos profesionales infieren erróneamente que esto significa que las losas sobre el terreno no son estructurales y no deberían ser diseñadas por un ingeniero matriculado.

Si las losas no forman parte del sistema estructural del edificio, el ACI 318 no es aplicable pero las losas sobre el terreno de pisos industriales a menudo deben soportar cargas muy importantes y necesitan ser diseñadas en forma apropiada para lograr un comportamiento adecuado en cuanto a su capacidad resistente y funcionamiento en servicio. Estas cargas pueden no afectar al edificio en los aspectos en que el ACI 318 es aplicable, pero la mayoría de los reglamentos de edificación requieren que todos los componentes o sistemas del edificio, incluyendo los pisos, sean diseñados por un ingeniero matriculado en la jurisdicción correspondiente a los efectos de las responsabilidades y permisos requeridos. La mayoría de los comitentes también suelen requerir que los diseñadores de estos pisos tengan un seguro que los cubra por posibles errores u omisiones en el diseño.

La Guía ACI 360R-10<sup>2</sup> es una referencia fundamental para el diseño de losas sobre el terreno. Sin embargo, dado que no se trata de un reglamento, muchos ingenieros siguen utilizando secciones del ACI 318 en sus proyectos. Por ejemplo, muchos siguen los requerimientos de la Sección 26.12.3.1 del ACI 318 porque establece criterios de aceptación que resultan aplicables a losas sobre el terreno. Hasta que no exista un reglamento para el diseño de losas sobre el terreno parece inevitable que sigan siendo utilizadas secciones del ACI 318 en algunos proyectos.

#### Armadura mínima

**P. ¿Cuál es la armadura mínima requerida en losas sobre el terreno?**

R. Las losas sobre el terreno se pueden diseñar sin armadura. En los casos en que se necesita colocar armadura de refuerzo, el ACI 360R-10 recomienda que las losas sobre el terreno sean reforzadas con o bien  $<0.1\%$  de refuerzo (aumentando la trabazón del agregado) de acuerdo con la Sección 6.2, o bien  $>0.5\%$  de refuerzo (losa armada en forma continua) tal como se describe en la Sección 8.3. Una cuantía  $<0.1\%$  permite que las juntas de contracción aserradas se activen y amplíen su ancho evitando fisuras aleatorias por fuera de la junta. Por su parte, una cuantía  $>0.5\%$  permite la formación de muchas fisuras con escasa separación y muy bajo ancho sin la necesidad de contar con juntas de contracción aserradas. Para cuantías intermedias, entre 0.1 y 0.5%, existe el riesgo de que se desarrolle una fisuración aleatoria por fuera de la junta y que el porcentaje de armadura de refuerzo no sea suficiente para mantener el ancho de las fisuras suficientemente pequeño. Especialmente, para minimizar el potencial deterioro (descascaramiento) ante la operación de equipos con ruedas pequeñas de material duro utilizados para la manipulación de materiales. La fisuración podría no ser un problema cuando no se utilizan este tipo de equipos (asumiendo que la existencia de fisuras visibles sea aceptable para el comitente). Por el contrario, cuando circulan por la losa equipos con ruedas pequeñas de material duro es necesario rellenar las fisuras en la misma forma que debe hacerse para las juntas aserradas.

Lamentablemente, como muchos diseñadores no advierten que el ACI 318 no es aplicable a losas sobre el terreno, es común ver que las mismas son especificadas con una cuantía del 0.18%, como consecuencia de los requerimientos de armadura mínima por contracción y temperatura de la Sección 24.4.3.2 del ACI 318 para losas estructurales. Nos ha tocado explicar esto en varios casos en los que la aparición de fisuras aleatorias había sido interpretada por el comitente como una falla estructural. Cuando la losa es utilizada como anclaje de paredes prefabricadas o paneles “sandwich” o como diafragmas y necesitan ser diseñadas de acuerdo con ACI 318 (Ver Tarr y otros<sup>3</sup>), especificar una cuantía mínima del 0.18% es comprensible. Sin embargo, debería tenerse en cuenta que la Sección 8.3 del ACI 360R recomienda una cuantía mínima del 0.5 % a los efectos de alcanzar una fisuración admisible desde el punto de vista del comportamiento en servicio.

en cuenta que la Sección 8.3 del ACI 360R recomienda una cuantía mínima del 0.5 % a los efectos de alcanzar una fisuración admisible desde el punto de vista del comportamiento en servicio. Con una cuantía del 0.5%, las fisuras son visibles, pero no requieren un mantenimiento similar a las juntas de contracción que son sustancialmente más fáciles de llenar en forma apropiada. Debe tenerse en cuenta que el uso de solo un 0.18% de refuerzo puede resultar en gastos de mantenimiento muy costosos en pisos industriales. De hecho, solemos decir que pisos industriales diseñados con cuantías entre el 0.1% y el 0.5% son construidos de “legalcreto” debido a los problemas de mantenimiento y a los subsiguientes litigios que originan este tipo de losas.

Resumiendo, para pisos industriales que soportan equipos para distribución de mercaderías (tales como autoelevadores), el ancho de fisuras es muy importante. Por lo tanto, se deben utilizar cuantías tan bajas como para que la fisuración ocurra únicamente debajo de las juntas aserradas (<0.1%) o suficientemente altas (>0.5%) como para que las fisuras aleatorias se mantengan con muy baja separación, pero no deben utilizarse niveles de refuerzo intermedios tales como los mínimos especificados por ACI 318 por contracción y temperatura.

#### **Acabado con palustre duro y contenido de aire**

##### **P. ¿Puede un concreto con un contenido de aire mayor al 3% soportar exitosamente una terminación con palustre duro?**

R. En las Secciones 4.2.2.4(d), 5.3.4.2(c), 10.2.2.1 y 11.2.2.1 del ACI 301-20<sup>4</sup> se establece que un concreto que va a recibir un acabado con palustre duro no debe tener un contenido de aire total mayor al 3%. La intención de este límite es minimizar el riesgo de delaminación durante el acabado de la superficie de concreto. La terminación con palustre no es la única etapa de la terminación que puede causar ampollas y delaminación. La explicación para este tipo de daño es que las operaciones de acabado originan la agrupación de burbujas de aire pequeñas en espacios vacíos más grandes que pueden formar lentes debajo de la superficie, concluyendo en la formación de ampollas. El pasaje repetitivo del palustre tiende a comprimir estos vacíos más grandes en lentes alargadas resultando finalmente en la delaminación de la capa superficial.

Es MUY riesgoso realizar el acabado con palustre duro de cualquier concreto con un contenido de aire mayor al 3% y este riesgo se incrementa con el aumento del contenido de aire. Sin embargo, también hemos observado que concretos con más del 3% de aire pueden ser acabados exitosamente, especialmente con condiciones

ambientales favorables y cuando las mezclas contienen agregado grueso liviano, ya que esto permite reducir la exudación del agua y del aire hacia la superficie de la losa. Sin embargo, el riesgo de delaminación no se elimina completamente aun utilizando concreto liviano y se vuelve extremadamente alto si el contenido de aire excede el 6%.

Además del contenido de aire, otros factores tales como el tiempo de fraguado, las condiciones ambientales y el fraguado diferencial (la formación de una costra superior prematuramente endurecida) se combinan para incrementar el riesgo de formar ampollas y delaminación. Si no se permite que los responsables por la terminación del hormigón pueden manejar en forma consistente el “timing” de las distintas operaciones requeridas, no pueden ser considerados responsables si solamente participan de la terminación a máquina de un concreto con aire incorporado.

#### **Condiciones de exposición**

##### **P. ¿Qué es posible hacer para proteger a las losas sobre el terreno para las distintas condiciones de exposición definidas en ACI 318?**

R. Como se mencionó previamente, el concreto con aire incorporado nunca debería tener un acabado con palustre duro. El límite del 3% en el contenido de aire total evita el riesgo de la formación de ampollas y la delaminación cuando se especifica una terminación a máquina. Si se necesita un mayor contenido de aire, la superficie debería ser terminada con escoba como los pavimentos. Esta condición podría ser aplicable también a pisos de estacionamientos. Una losa expuesta al congelamiento y deshielo (Exposición Categoría F en ACI 318), que suele requerir incorporación de aire, resulta una condición muy desafiante cuando se especifica simultáneamente un acabado con palustre duro. Si la fecha de entrega de la losa terminada coincide con el principio de la primavera, algunos contratistas han logrado una colocación exitosa a fines del otoño del concreto sin incorporación de aire en pisos interiores, permitiendo que las losas fueran expuestas a las condiciones invernales antes de realizar el cerramiento del edificio. La clave fue evitar la acumulación de agua (charcos) sobre la superficie de las losas. El concreto sin incorporación de aire, pero seco, puede soportar un ciclo de congelamiento y deshielo sin daño. Por el contrario, el daño suele ocurrir si el concreto se encuentra con niveles de humedad correspondientes a la saturación crítica o por encima de ese valor. Se ha observado que las losas presentan daños dentro del área donde existe acumulación de agua, mientras que esto no ocurre en la superficie inmediatamente fuera de la zona de encharcamiento.

La remoción del agua estancada y los charcos de la superficie del concreto es mucho más fácil de decir que de hacer. Sin embargo, si los operarios realizan su tarea en forma diligente, el daño por congelamiento y deshielo puede ser limitado o prevenido. Una superficie con terminación con palustre duro es muy densa y no muy porosa, siendo posible remover el agua superficial antes de que pueda penetrar y re-saturar el concreto. De todos modos, el riesgo de daño por congelamiento y deshielo debe siempre ser considerado.

Un retardador de vapor efectivo debería ser utilizado para losas sobre el terreno colocadas en contacto con agua o expuesta a sulfatos (Exposición Clase W o S de acuerdo con ACI 318, respectivamente). En base a ensayos y a la experiencia, los retardadores de vapor no causan alabeo de las losas, por el contrario lo disminuyen. Los responsables de la terminación deben encargarse de la exudación prolongada, pero es más fácil tratar con el acabado de la losa durante la colocación que con las complicaciones de largo plazo que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura. Actualmente se recomienda que los retardadores de vapor se coloquen bajo toda la superficie de la losa y no solamente en áreas de oficinas diseñadas para recibir los revestimientos del piso. Los beneficios que se obtienen por la disminución del alabeo y la reducción del riesgo de transpiración y el daño a los productos almacenados justifica su colocación en la mayor parte de los casos.

Una losa sobre el terreno expuesta a humedad y cloruros (Exposición Clase C de acuerdo con el ACI 318) que no cuenta con un retardador de vapor efectivo por debajo del concreto debería asumirse húmeda (saturada) en servicio. La superficie expuesta puede aparecer seca, pero la humedad puede moverse verticalmente en dirección ascendente desde la napa freática hacia el interior de la losa. Una superficie densificada con palustre duro disminuye la velocidad de transmisión y puede hacer que se condense el vapor pasando a estado líquido dentro de la estructura de poros del concreto. Esto puede incidir en la susceptibilidad al daño por congelamiento y deshielo y/o la corrosión de la armadura de refuerzo. Para losas de concreto con barras de refuerzo que se encuentren en estado húmedo en condiciones de servicio se deben tener en cuenta los valores admisibles de iones cloruro de la Tabla 4.2.2.6(e) del ACI 301. Esta limitación puede tener un impacto significativo sobre la dosis admisible de aceleradores en base a cloruros durante la colocación del concreto. Una vez colocado el concreto, las losas interiores con acabado de palustre duro no suelen recibir en su superficie productos químicos descongelantes en

base a cloruros. Sin embargo, los pisos para estacionamiento sí suelen recibir ese tipo de descongelantes y pueden requerir, por lo tanto, incorporación de aire y una terminación con escoba evitando un acabado a máquina.

*Gracias a Scott M. Tarr, North S.Tarr Concrete Consulting, P.C., Dover, NH, USA, por proporcionar las respuestas a estas preguntas.*

#### Referencias

- 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 360, "Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.
- 3- Tarr, S.M.; Sheehan, M.J.; and Van Duyne, E.J., "Considerations for Precast Concrete Panels Tied to Slabs-on-Ground," Concrete International, V. 42, No. 1, Jan. 2020, pp. 31-35.
- 4- ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.

#### La traducción de este artículo correspondió a la Sección Argentina.

*Título: Concreto  
Preguntas y Respuestas  
Diseño y Construcción de losas sobre*



Traductor y revisor técnico:  
Dr. Raul Bertero.