

# CONCRETO

## LATINOAMÉRICA



VOLUMEN II | NÚMERO 7 | JULIO 2021

El presente número de la Revista Digital Concreto Latinoamérica es un esfuerzo de los Capítulos o Secciones del American Concrete Institute (ACI) en Latinoamérica, para poner al alcance de sus miembros y afiliados los contenidos que el ACI International publica en su revista Concrete International en inglés.

## CONTENIDO

### Pág.

4

#### **Estableciendo tolerancias de espesor para losas de estacionamiento.**

Se evalúan las variaciones de espesor que se han medido  
Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo Argentina.

23

#### **Del conocimiento a la practica: Fundación ACI.**

Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo México Noroeste.

26

#### **Profundidad Efectiva de Columnas Rectangulares y Circulares para Cálculos de Resistencia al Cortante.**

Se propone un procedimiento de diseño sencillo.  
Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo México Centro y Sur.

33

#### **Concreto P y R.**

Traducción y revisión técnica a cargo del  
Capítulo Puerto Rico.

## COMITÉ EDITORIAL:

### Presidente del Comité Editorial:

Ing. Alejandro Miguel Narro Aguirre  
Presidente de la Sección Noreste de México del ACI.  
(2020-2022)

### Editor en Jefe:

Ing. José Lozano y Ruy Sánchez

### Editor Asociado:

M.C. Lucio Guillermo López Yépez

### Soporte Técnico:

Dr. Alejandro Durán Herrera

### Coordinadora de Traducciones:

Lic. Iliana M. Garza Gutiérrez

### Comunicación y Logística:

Lic. Ana Durán Herrera

### Cualquier asunto relacionado con la publicación contactarse a:

Correo: [concretolatam@gmail.com](mailto:concretolatam@gmail.com)

Tel: +52 81 2146 4907

---

"Agradecemos el apoyo a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León por la colaboración en el diseño editorial".

### Diseño Editorial: Comunicación e Imagen Institucional FIC-UANL

MDG. Rosa Otilia Armendáriz Solís  
LDI. Luis Yerel Romo Valdez  
LDI. Monserrat Garza Treviño

### Auxiliar de Diseño:

Alejandro Martínez Sánchez

---

Los contenidos de los artículos corresponden a la traducción del inglés al español realizada por los Capítulos del ACI en Latinoamérica, y fueron originalmente publicados en la revista Concrete International correspondiente al mes de Julio de 2021. El Instituto no se hace responsable por las declaraciones u opiniones expresadas en sus publicaciones. Las publicaciones del instituto no pueden ni pretenden suplantar el entrenamiento técnico individual, responsabilidad o juicio del usuario o de quien provee y presenta la información. Con el propósito de difundir el conocimiento técnico del concreto, se autoriza la difusión de la presente edición a los Capítulos del ACI de habla hispana entre su membresía y grupos de interés, sin embargo, será necesaria la autorización del American Concrete Institute para reproducir total o parcialmente los contenidos de este número salvo que se hagan para uso personal o académico y sin fines comerciales. Todos los materiales originales en inglés, y contenidos en este número de Concreto Latinoamérica en español, están protegidos por las leyes de Derechos de autor y propiedad industrial, tanto nacionales como internacionales.

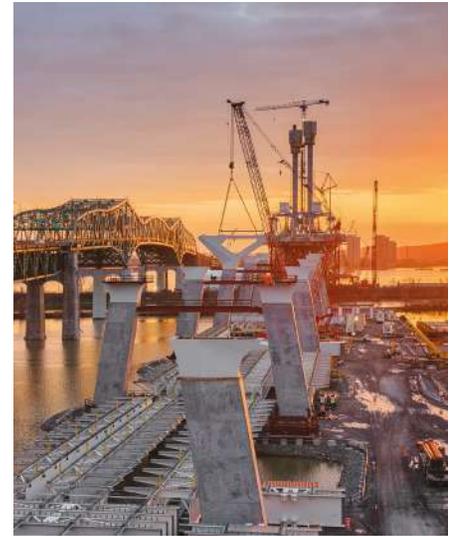
# Representantes de los Capítulos ACI de Latinoamérica:

**Argentina**  
**Colombia**

**Costa Rica**  
**Ecuador Centro y Sur**  
**Guatemala**

**México Noreste**  
**México Noroeste**  
**México Centro y Sur**  
**México Sureste**  
**Perú**  
**Puerto Rico**

Ing. Raúl Bertero  
Ing. Nancy Torres Castellanos  
Ing. Fabían Lamus Báez  
Ing. Minor Murillo  
Ing. Santiago Vélez Guayasamín  
Ing. Luis Alvarez Valencia  
Ing. Xiomara Sapón  
Ing. Alejandro M. Narro  
Ing. Alejandra Valencia  
Ing. Alma Reyes Zamorano  
Ing. Joseph Mandujano  
Ing. Luciano López Vinatea  
Ing. Anabel N. Merejildo



Fotografía de portada corresponde a las columnas de apoyo de los estribos del Puente Samuel de Champlain, en Quebec, Canadá. Esta obra alcanzó el segundo lugar para la categoría de obras de infraestructura en el concurso de excelencia en concreto ACI 2020. El puente mide 3.4 km de longitud, pero alcanza los 8.4 km en total incluyendo los viaductos de acceso. Incluye 6 líneas de tráfico vehicular, acotamientos extra anchos y un corredor adicional que incluye un sistema ferroviario ligero de transporte público y un carril multi-usos para peatones y ciclistas. La obra se diseñó para una vida útil de 125 años y fue nominada para el concurso por el Capítulo de Quebec y Ontario del Este del ACI en Canadá.



**¡Únete Hoy!**  
**Conoce tu capítulo**  
**local ACI**

300+ Capítulos profesionales  
y estudiantiles  
[www.concrete.org/chapters](http://www.concrete.org/chapters)



# Estableciendo tolerancias de espesor para losas de estacionamiento

*Se evalúan las variaciones de espesor que se han medido*

*por Eldon Tipping, Tim Manherz, Paul J. Beagley, Peter J Ruttura y Bruce A Suprenant*

Antes de la edición de 2006, el estándar de tolerancias de construcción del ACI, la especificación ACI 117, proporcionaba las mismas tolerancias para el espesor de cualquier elemento de hormigón, ya fuera una columna, una viga, un pilar, un muro o una losa. Hasta entonces, un elemento de concreto estaba dentro de la tolerancia si su espesor no era mayor que el espesor especificado +3/8 pulg, y no menor que el espesor especificado -1/4 pulg.

Sin embargo, en la ACI 117-06, "Especificaciones de Tolerancias para Materiales y Construcciones de Hormigón"<sup>1</sup>, las tolerancias de espesor para losas sobre suelo se separaron de las tolerancias para otros elementos de hormigón. Esto significó un reconocimiento de que la construcción de una losa sobre suelo, un elemento con su espesor definido por una base granular y una superficie expuesta sin conformar con un molde, es singularmente diferente a la construcción de un elemento con su espesor definido por un encofrado. ACI 117-06 y las siguientes ediciones de la especificación ACI 117 proporcionan tolerancias de espesor para losas de hormigón sobre suelo niveladas (es decir, superficies superiores e inferiores horizontales, típicas de losas interiores). Recientemente, el Comité 330 del ACI, Losas de Estacionamiento y Pavimentación de Obras, ha cuestionado colectivamente la aplicabilidad de las tolerancias de ACI 117-10 (15)<sup>2</sup>.

A losas sobre suelo para losas de estacionamiento exteriores, que generalmente tienen pendientes, tanto de la superficie superior como de la inferior, diseñadas para dirigir el drenaje del agua. En cooperación con la Sociedad Estadounidense de Contratistas de Hormigón (ASCC), el Comité 330 del ACI subsecuentemente recopiló datos de 32 ejecuciones distintas de losas sobre suelo. Este artículo informa las variaciones de espesor medidas para las losas evaluadas. Además, este artículo informa las tolerancias de espesor para pavimentos de losas de estacionamiento que nosotros, los autores, hemos propuesto al Comité Conjunto 117 de ACI-ASCC, Tolerancias y al Comité 330 del ACI.

## Conceptos básicos de losas sobre suelo

En una losa sobre suelo típica, la subbase contiene a la losa como parte de la capacidad de carga requerida para las cargas del tráfico vehicular. La subbase también sirve como control de la nivelación de la superficie inferior del hormigón y funciona como plataforma de trabajo para el personal y los equipos de construcción. Una plataforma de trabajo estable para todo tipo de clima minimiza las variaciones de espesor causadas por cambios locales en la nivelación de la subbase generadas durante la construcción.

El rodamiento de prueba es un procedimiento de control de calidad eficaz recomendado por ACI 302.1R-15, “Guía para la Construcción de losas y Pisos de Hormigón”<sup>3</sup> y ACI PRC-330-21, “Diseño y Construcción de Losas de Estacionamiento Comerciales y Pavimentación de Obras de Hormigón—Guía”<sup>4</sup>, para determinar si la subbase proporciona un soporte estable y adecuado durante y después de la construcción. El procedimiento generalmente se lleva a cabo conduciendo un camión volcador de eje tándem cargado o un camión de hormigón cargado sobre la subbase, siguiendo una cuadrícula patrón preestablecida. Si el camión no deja depresiones o surcos de más de 1/2 pulgada de profundidad, la prueba establece que las labores de construcción no generarán un valor inaceptable de variación local en los niveles de la subbase.

Las variaciones de los niveles de la superficie inferior y superior contribuyen a las variaciones de espesor de las losas de hormigón sobre el suelo. La ejecución de la subbase establece el control de la nivelación general de esta superficie, y las labores de construcción crean diferencias locales del nivel de esta superficie. Hay que tener en cuenta que en la ACI 117-10 (15), Sección 4.4.5, se establece que la tolerancia de nivelación de la subbase inmediatamente debajo del hormigón es  $\pm 3/4$  pulg.

El nivel de la superficie superior del hormigón se establece durante el enrasado, generalmente referenciado a un plano horizontal determinado, usando un nivel láser giratorio. Esto establece el control del nivel general de la superficie superior, y las tolerancias de planitud y nivelación del piso establecen un rango de variación local para los trabajos de terminación. La variación de nivel local para la planitud y la nivelación, comúnmente especificadas para superficies terminadas con llana dura, es de aproximadamente 1/8 pulg. Hay que tener en cuenta que en la ACI 117-10 (15), Sección 4.4.1, se establece una tolerancia del nivel de la superficie superior como  $\pm 3/4$  pulg. La Figura 1 es un esquema de tres losas sobre el suelo diferentes que se discuten a continuación.

## Losas niveladas

Las losas niveladas se utilizan normalmente como pisos de construcción. La Figura 2 ilustra cómo los niveles generales superior e inferior y las variaciones locales establecen el espesor de la losa para una losa nivelada, que identificamos como una “losa nivelada con llana dura sobre suelo”.

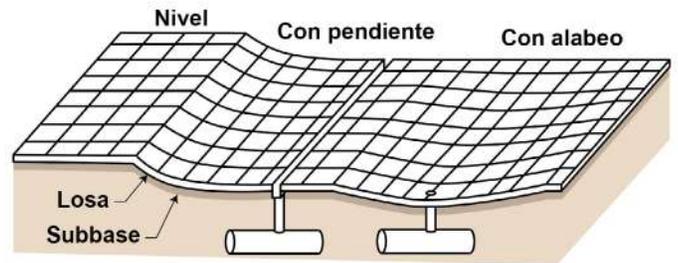


Figura 1: Las superficies superior e inferior de las losas sobre suelo pueden estar niveladas, con pendiente o con alabeo (según una ilustración publicada por Somero Enterprises Inc.)

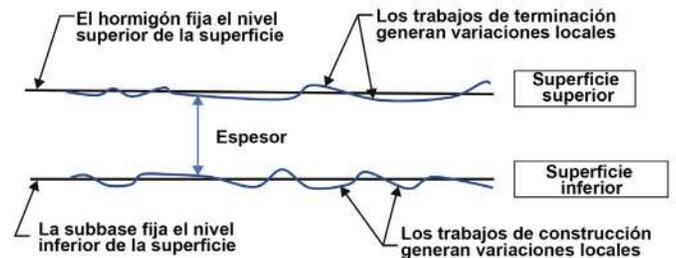


Figura 2: Ilustración esquemática del espesor de una losa de hormigón sobre suelo interior nivelada (pendiente cero)

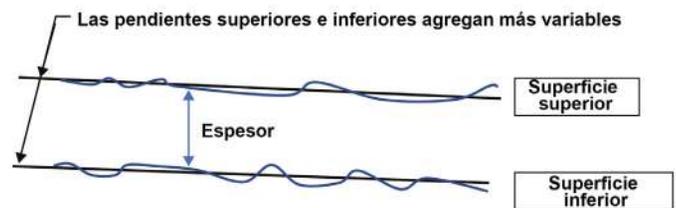


Figura 3: Ilustración esquemática del espesor de una losa con pendiente de una playa de estacionamiento exterior

## Losas con pendiente

Los estacionamientos exteriores tienen pendientes para permitir el drenaje del agua (Figura 1). Esta pendiente agrega una variable adicional para el control de la nivelación de la superficie superior e inferior.

Las pendientes de drenaje de 2 a 5% dan como resultado cambios de nivelación que varían de aproximadamente  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{3}{4}$  Pulg./pié. como se muestra en la Figura 3, esta variable también influye en el espesor. Además, las variaciones de planitud local en una superficie superior cepillada o terminada a la cinta son mayores que las variaciones de planitud para una superficie interior terminada con llana dura.

La variación de nivelación local para una superficie cepillada, generalmente establecida midiendo el espacio debajo de una regla, puede ser de hasta 1/2 pulgada (12,7 mm). Identificamos esta losa como una “losa sobre suelo cepillada con pendiente”

## Losas con alabeo

Un giro aún más complejo en las losas de estacionamiento exteriores con pendiente es la superficie de hormigón con alabeo (contorneada) (Figura 1).

La construcción de estacionamientos con superficies con alabeos generalmente requiere un sistema de control tridimensional tanto para la nivelación de la subbase como para el equipo de enrasado del hormigón.

La variedad de desafíos y la complejidad para el control de la superficies superior e inferior probablemente conducirá a variaciones de espesor mayores que las losas de hormigón sin pendiente o con pendiente unidireccional. Identificamos esta losa como una “losa sobre suelo cepillada con alabeo”.

## Historia de las tolerancias de espesor de las losas sobre el suelo

La Tabla 1 proporciona la historia de las tolerancias de espesor de las losas sobre el suelo en la especificación ACI 117.

La Tabla 2 proporciona el historial de tolerancias de espesor de las losas de estacionamiento en la especificación ACI 330.1.

En 1989, cuando la tolerancia en el espesor de la losa sobre el suelo era menor a 1/4 de pulgada según la especificación ACI 117, Gustaferrero recomendó que “se necesitan tolerancias revisadas y más realistas”.<sup>10</sup> Concluyó: “Una especificación realista podría leerse así: ‘El espesor promedio de una losa de piso no debe ser menor que el espesor que figura en los planos, y no más del 16% del área total del piso debe tener un espesor menor que 3/8 de pulgada del que figura en los planos’”<sup>10</sup>.

En una entrevista publicada en el Concrete Construction en el año 2000, Gustaferrero afirmó que esta recomendación se basaba en el supuesto de “una excelente desviación estándar de 3/8 de pulgada en el espesor”.<sup>11</sup>

**Tabla 1:**  
**Historial de tolerancias de espesor de losas sobre suelo en la especificación ACI 117**

ACI 117	Descripción	Tolerancias
1981 <sup>5</sup>	Dimensiones de la sección transversal de columnas, vigas, muros y espesor de losas	Hasta 12 pulg.: +3/8 pulg., - 1/4 pulg. Más de 12 pulg.: +1/2 pulg., -3/8 pulg.
1990 <sup>6</sup>	Elementos, tales como columnas, vigas, muelles, muros (solamente espesores), y losas (espesores solamente)	Dimensión de 12 pulg. o menos: 3/8 pulg, -1/4 pulg. Más de 12 pulg. pero no sobre una dimensión de 3 pies:: +1/2 pulg., -3/8 pulg. Sobre una dimensión de 3 pies: +1 pulg., -3/4 pulg.
2006 <sup>1</sup>	Espesor de losas sobre suelo	Promedio de todas las muestras: -3/8 pulg. por debajo del espesor especificado Muestra individual: -3/4 por debajo del espesor especificado
2010 (2015) <sup>2</sup>	Igual que en 2006	Igual que en 2006

**Tabla 2:**  
**Historial de la tolerancia de espesor de losas sobre suelo para playas de estacionamientos de hormigón según la especificación ACI 330.1**

ACI. 330.1	Descripción	Tolerancias
1994 <sup>7</sup>	Espesor	+3/8 pulg., -1/4 pulg.
2003 <sup>8</sup>	Igual que en 1994	Igual que en 1994
2014 <sup>9</sup>	Igual que ACI 117-10 para losas sobres suelo	Igual que ACI 117-10 para losas sobre suelo

Los datos del artículo de Gustaferro de 1989, sin embargo, exhibieron desviaciones estándar que van desde 0,47 a 0,90 pulgadas. Los datos también mostraron que el espesor promedio de las losas era menor que el espesor nominal especificado en todos los casos.

En esa misma entrevista, Tipping recomendó un enfoque de las tolerancias que “imponga limitaciones en el espesor medio de los pruebaigos tomados y un límite por el cual cualquier pruebaigo individual no alcanza el espesor requerido.”<sup>11</sup> En 2000, la Asociación de Estándares Canadiense (CSA) adoptó las disposiciones de tolerancias para losas sobre suelo en coincidencia con la recomendación de Tipping.<sup>12</sup>

El Comité 117 de ACI adoptó posteriormente el enfoque de la CSA en la revisión de 2006, y esto permanece en la especificación ACI 117-10 (15).

Si bien las disposiciones de tolerancia de la especificación ACI 330.1 han seguido las de la especificación ACI 117, la Sección 4.8.3,13 de la ACI 330.2R-17 reconoce que “el drenaje de un pavimento con alabeo ... hace que sea más difícil mantener las tolerancias de espesor”.

Mientras que los Comités 117 y 330 del ACI han estado trabajando para desarrollar tolerancias de espesor realistas, tanto la ACI 360R-10, “Guía para el diseño de losas sobre suelo”<sup>14</sup>, como la ACI 302.1R-15, “Guía para la construcción de pisos y losas de hormigón”,<sup>15</sup> guardan silencio sobre este tema.

En nuestra opinión, ambos documentos deben informar a los diseñadores y contratistas de estos problemas para que puedan abordarse antes de la construcción.

## Gráficas de las tolerancias de espesor de espesor

La historia de las tolerancias de espesor de losas sobre suelo requeridos por la especificación ACI 117 está gráficamente resumida en la Figura. A y B. Antes de la edición de 2006, se requería que el espesor de cualquier muestra no fuera superior al espesor especificado en  $+3/8$  pulg. y no menor que el espesor especificado en  $-1/4$  pulg. Desde 2006 hasta el presente, la especificación incluye dos tolerancias: una sobre el promedio de los valores de espesor de la muestra y otra sobre el espesor de una muestra individual. El espesor medio no debe ser menor que el espesor especificado  $-3/8$  pulg., y el espesor de una muestra individual no debe ser menor que el especificado espesor  $-3/4$  pulg.

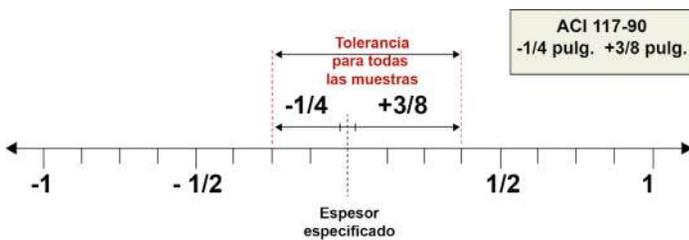


Figura A: Ilustración gráfica de los límites de tolerancia asimétricos para todos los elementos de hormigón, incluyendo las losas sobre suelo para elementos de tamaños de 12 pulg. o menos, en ACI 117-90<sup>6</sup>

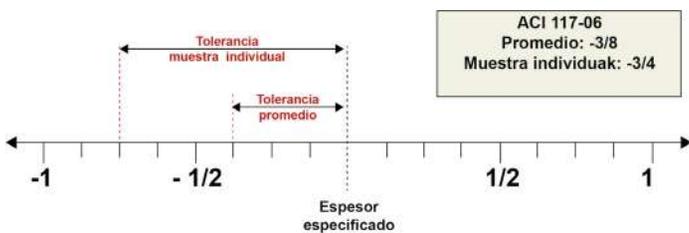


Figura B: Ilustración gráfica de dos niveles de tolerancias del espesor para losas sobre suelo en ACI 117-06<sup>1</sup>

Para el contratista, cumplir con la especificación de la tolerancia en el espesor de una muestra individual con respecto al espesor especificado es el criterio más desafiante. Por ejemplo, consideremos una ejecución que da como resultado una desviación estándar de  $3/8$  pulg. (como fue anteriormente señalado, Gustafsson<sup>10</sup> consideró que se trataba de una demostración de excelente control del espesor)

Suponiendo una distribución normal de valores de espesor, el criterio de que el espesor de una muestra individual debe ser como máximo  $-3/4$  pulg, es aproximadamente una desviación estándar a la derecha del espesor mínimo de todas las muestras y una desviación estándar a la izquierda del valor central de todas las muestras (Figura. C). Por lo tanto, incluso aun cumpliendo con la tolerancia de espesor promedio, alrededor del 15 al 20% del pavimento tendrá valores de espesor por debajo de la tolerancia  $-3/4$  pulg.

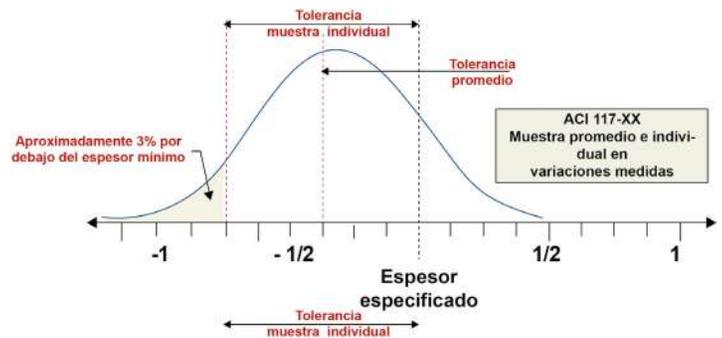


Figura C: Ilustración esquemática del porcentaje de valores de pavimento por debajo del valor de la tolerancia individual de  $-3/4$  pulg. en un pavimento con una desviación estándar de  $3/8$  pulg. y cumpliendo con el límite de espesor promedio medido de  $-3/8$  pulg. por debajo del espesor

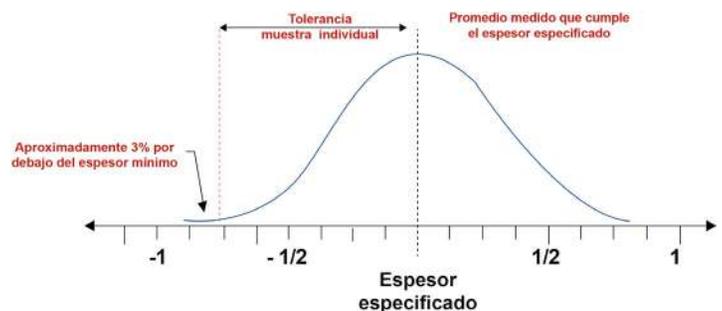


Figura D: Ilustración esquemática del porcentaje de valores de pavimento por debajo del valor de tolerancia individual de  $-3/4$  pulg. en un pavimento con una desviación estándar de  $3/8$  pulg. y con el espesor promedio medido cumpliendo con el espesor especificado

Alternativamente, si se requería que el espesor promedio fuera no menor que la tolerancia especificada y el  $-3/4$  pulg. y a tolerancia individual se referenciaba al centro de la distribución del espesor, solo alrededor del 3% de los valores del espesor caerían por debajo del criterio  $-3/4$  pulgadas (Figura D).

## Disposiciones del ACI para la toma de muestras del espesor

Además de las tolerancias de espesor, el ACI 117-10 (15) proporciona requisitos para el muestreo como se muestra en la Tabla 3. Actualmente, estas tolerancias también se aplican a las losas de estacionamiento. La especificación también proporciona instrucciones para los cálculos y las acciones correctivas. La Sección 4.5.4.5 establece un límite superior en el espesor de la muestra utilizado en los cálculos del espesor promedio, y la Sección 4.5.4.6 exige tomar muestras adicionales cerca de las ubicaciones con resultados inaceptables.

**Tabla 3:**

### Requisitos para la toma de muestras en las losas sobre suelo y en las losas de estacionamiento en la ACI 117-10(15)<sup>2</sup>

Sección	Descripción
4.5.4.1	El número mínimo de muestras de espesor, cuando se toman, será de cuatro (4) por cada 5000 pies <sup>2</sup> o parte del mismo
4.5.4.2	Las muestras deberán ser tomadas dentro de los 7 días posteriores a la ejecución
4.5.4.3	Las muestras deberán estar localizadas aleatoriamente sobre el área a evaluar y deberán ser tomadas por medio de pruebaigos calados o utilizando un dispositivo de impacto-eco
4.5.4.3.1	Cuando se tomen pruebaigos calados, su longitud deberá ser determinada utilizando la Norma ASTM C174/C174M
4.5.4.3.2	Cuando se utilice un dispositivo de impacto-eco, éste deberá ser calibrado utilizando un mínimo de tres ubicaciones aleatorias dentro del área a evaluar, donde el espesor real del hormigón sea conocido. El ensayo de impacto-eco deberá realizarse de acuerdo a la Norma ASTM C1383
4.5.4.4	Los resultados deberán ser informados de manera tal que permitan verificar los datos o repetir el ensayo
4.5.4.5	Cuando se calcule el promedio de todas las muestras, las muestras individuales que tengan un valor mayor a $3/4$ pulg por encima del espesor especificado, deben ser consideradas como que tienen un espesor de $3/4$ pulg mayor al espesor especificado
4.5.4.6	Cuando se requiera una acción correctiva, se deben tomar muestras adicionales en la vecindad de la zona de resultados inaceptables para establecer la extensión de la acción correctiva

## Recolección de datos del Comité ACI 330

Eldon Tipping, ex presidente del Comité 330 del ACI, desarrolló una hoja de cálculo para que los contratistas la utilizaran en la recopilación de datos de los espesores de sus pavimentos ejecutados en losas sobre suelo.

Según el tamaño de la ejecución, la hoja de cálculo generaba al azar 30 puntos de medición donde se determinarían los datos de nivel de la superficie superior y de la subbase utilizando una estación total. Después de ingresar los datos en la hoja de cálculo, el espesor del pavimento era calculado en cada punto como la diferencia entre el nivel de la superficie y el nivel de la subbase.

Tres contratistas que trabajan en los Estados Unidos (Texas, Nueva York y Utah) recopilaron datos de espesores de 32 ejecuciones diferentes de losas de hormigón sobre suelo. Los contratistas clasificaron cada ejecución como losa sobre suelo nivelada con llana dura, losa sobre suelo cepillada con pendiente o losa sobre suelo cepillada con alabeo.

La Tabla 4 proporciona un resumen de los datos recopilados. Las tablas 5, 6 y 7 brindan información detallada para las losas sobre suelo niveladas con llana dura, las losas sobre suelo cepilladas con pendiente y las losas sobre suelo cepilladas con alabeo

**Tabla 4:**  
**Resumen de los datos de las losas sobre suelo recolectados por el Comité ACI 330**

Descripción	Niveladas con llana dura	Cepilladas con pendiente	Cepilladas con alabeo
Número total de proyectos.	12	15	5
Área total, pies <sup>2</sup> .	210,110	178,960	98,100
Número total de mediciones.	405	522	151
Espesor especificado, pulg.	5, 6, 7, 8, 10	6, 7, 8, 12	6
Desviación media promedio con respecto a la especificada, pulg.	+0.11	+0.16	+0.09
Desviación standard promedio ponderada, pulg.	0.34	0.52	0.75
Control del nivel de la subbase	Niveladora laser: 8 Caja niveladora de arrastre: 3 Topadora: 1	Motoniveladora: 9 Niveladora robótica: 1 Caja niveladora de arrastre: 3 Topadora: 2	Motoniveladora: 5
Enrasado de la superficie superior	Laser: 12	Manual: 13 Laser: 12	Laser: 5

**Tabla 5:****Datos recolectados por el Comité ACI 330 de las losas sobre suelo niveladas con llana dura**

Tamaño de la ejecución, pie <sup>2</sup>	Número de muestras	t, pulg	Superficie inferior (subbase), pulg.		Superficie superior (hormigón), pulg.		Espesor medido, pulg.		Método constructivo	
			MD	SD	MD	SD	MD	SD	Subbase	Superficie superior
23,000	39	6	-0.56	0.41	+0.15	0.13	0.71	0.43	Niveladora laser	Enrasadora laser
23,000	38	6	-0.60	0.39	-0.14	0.12	0.47	0.35	Niveladora laser	Enrasadora laser
21,000	40	8	-0.54	0.30	-0.21	0.11	0.33	0.28	Niveladora laser	Enrasadora laser
22,000	50	7	+0.13	0.26	+0.07	0.15	-0.06	0.28	Niveladora laser	Enrasadora laser
41,000	39	8	0.31	0.28	-0.01	0.11	-0.32	0.32	Niveladora laser	Enrasadora laser
1380	20	5	0.08	0.43	0.19	0.10	0.11	0.42	Caja niveladora de arrastre	Enrasadora laser
3600	25	10	-0.17	0.38	-0.06	0.16	0.11	0.36	Niveladora laser	Enrasadora laser
40,830	38	8	0.31	0.28	-0.01	0.11	-0.32	0.32	Niveladora laser	Enrasadora laser
21,400	26	6	0.63	0.36	0.65	0.18	0.01	0.38	Niveladora laser	Enrasadora laser
3000	30	7	0.18	0.40	-0.29	0.26	-0.47	0.32	Caja niveladora de arrastre	Enrasadora laser
3500	30	6	0.04	0.33	+0.44	0.20	0.40	0.33	Caja niveladora de arrastre	Enrasadora laser

**Nota:** t = espesor especificado; MD = desviación media con respecto al valor especificado, SD = desviación standard

**Tabla 6:**  
**Datos recolectados por el Comité ACI 330 de las losas sobre suelo cepilladas con pendiente**

Tamaño de la ejecución, pie <sup>2</sup>	Número de muestras	t, in.	Superficie inferior (subbase), pulg		Superficie superior (hormigón), pulg		Espesor medido, pulg		Método constructivo	
			MD	SD	MD	DS	MD	SD	Superficie inferior	Superficie superior
15,000	40	6	.	.	.	.	0.24	0.38	Caja niveladora de arrastre	Enrasadora manual
21,000	40	7	.	.	.	.	0.52	0.46	Motoniveladora	Enrasadora manual
15,500	40	12	.	.	.	.	0.05	0.56	Motoniveladora	Enrasadora manual
11,000	44	12	.	.	.	.	0.33	0.41	Motoniveladora	Enrasadora manual
7200	36	12	.	.	.	.	0.3	0.46	Motoniveladora	Enrasadora manual
4000	31	12	.	.	.	.	0.17	0.45	Motoniveladora	Enrasadora manual
11,000	44	12	.	.	.	.	0.37	0.54	Motoniveladora	Enrasadora manual
9,500	33	12	.	.	.	.	0.15	0.43	Motoniveladora	Enrasadora manual
5,500	32	12	.	.	.	.	-0.31	0.41	Motoniveladora	Enrasadora manual
5,500	37	12	.	.	.	.	0.01	0.53	Motoniveladora	Enrasadora manual
1760	25	6	.	.	.	.	0.49	0.54	Topadora	Enrasadora manual
2700	20	7	.	.	.	.	0.19	0.62	Caja niveladora de arrastre	Enrasadora manual
27,200	40	7	.	.	.	.	0.30	0.60	Caja niveladora de arrastre	Enrasadora manual
25,800	30	8	0.19	0.87	-0.22	0.29	-0.42	0.94	Topadora	Enrasadora laser
25,800	30	8	-0.19	0.20	0.34	0.45	0.52	0.52	Niveladora robótica	Enrasadora laser

**Nota:** t = espesor especificado; MD = desviación media con respecto al valor especificado, SD = desviación standard

\*El contratista no proporcionó datos sobre los puntos de la encuesta

**Tabla 7:****Datos recolectados por el Comité ACI 330 de las losas sobre suelo cepilladas con alabeo**

Tamaño de ejecución, pie <sup>2</sup>	Número de muestras	t, pulg	Superficie inferior (subbase), pulg		Superficie superior (hormigón), pulg		Espesor medido, pulg		Método constructivo	
			MD	SD	MD	SD	MD	SD	Superficie inferior	Superficie superior
21,000	30	6	0.77	0.86	1.13	0.36	0.36	0.59	Motoniveladora	Enrasadora laser
17,600	30	6	0.07	1.10	0.75	0.59	0.68	0.70	Motoniveladora	Enrasadora laser
26,500	30	7	-2.22	1.36	-2.58	0.91	-0.36	0.88	Motoniveladora	Enrasadora laser
16,500	30	7	-1.31	0.67	-1.62	1.11	-0.31	0.95	Motoniveladora	Enrasadora laser
16,500	31	7	2.35	0.67	2.39	0.44	0.03	0.63	Motoniveladora	Enrasadora laser

Nota: t = espesor especificado; MD = desviación media con respecto al valor especificado, SD = desviación standard

\* El contratista describió el proyecto como “una playa de estacionamiento retorcida, de varios niveles y con varias pendientes a carreteras de conexión”.

## Análisis de datos

### ¿Son diferentes las losas sobre el suelo?

La Tabla 8 proporciona un resumen de los análisis de datos para los tres tipos de losas sobre suelo. Los promedios ponderados para la desviación media sobre el espesor especificado (MD) y la desviación estándar (SD) se basan en el número de muestras para cada ubicación.

Las desviaciones estándar son 0.35, 0.52 y 0.75 para las losas sobre suelo niveladas con llana dura, las losas sobre suelo cepilladas con pendiente y las losas sobre suelo cepilladas con alabeo, respectivamente. Si bien los datos son limitados, la determinación de los valores de planitud F indica que las desviaciones estándar para los tres tipos de losas son diferentes en aproximadamente el nivel de significancia del 0.10%. Basándonos en esta determinación y la experiencia del comité, tratamos los datos como si representaran tres tipos únicos de losas sobre suelo.

**Tabla 8:****Valores medios ponderados de los espesores medidos**

Tipo de losa y de terminación superficial	Número de ejecuciones	Número de muestras	MD, pulg	SD, pulg
Niveladas con llana dura	12	405	0.11	0.35
Cepilladas con pendiente	15	522	0.18	0.52
Cepilladas con alabeo	5	151	0.09	0.75

Nota: MD = desviación media con respecto al valor especificado, SD = desviación standard

## ¿Cómo se compara el conjunto de datos del Comité 330 del ACI con otros conjuntos de datos?

En 2009, Suprenant y Malisch<sup>16</sup> presentaron datos (en lo sucesivo denominados “conjunto de datos ASCC”) para losas planas sobre suelo niveladas con llana dura (Tabla 9). La *SD* promedio ponderada fue de aproximadamente 5/8 pulg. y la *MD* promedio ponderada fue de aproximadamente -3/8 pulg. Los datos de siete de los ocho proyectos en el conjunto de datos de ASCC se obtuvieron del artículo de Gustaferro de 1989<sup>10</sup>. El valor de *SD* obtenido en el estudio actual del Comité 330 de ACI fue mayor, tal vez porque la calidad de la construcción de losas sobre el suelo ha mejorado desde la década de 1980 y porque los dos estudios utilizaron diferentes criterios y métodos de selección.

**Tabla 9:**  
Datos de losas niveladas con llana dura resumidos por Suprenant y Malisch (conjunto de datos de la ASCC)<sup>16</sup>

Proyecto	Sub área, pie <sup>2</sup>	Número de mediciones	<i>t</i> , pulg	<i>MD</i> , pulg	<i>SD</i> , pulg
1	240,000	862	4	-0.1	0.60
2	200,000	75	6	-0.5	0.47
3	100,000	186	6	-0.55	0.70
4	100,000	427	6	-0.28	0.60
5	100,000	153	6	-0.38	0.57
6	90,00	79	4	-0.36	0.90
7	100,000	111	4	-0.32	0.77
8	Unknown	60	5	-0.34	0.73

**Nota:** *MD* = desviación media con respecto al valor especificado, *SD* = desviación standard

También hay una diferencia significativa en los valores de la *MD*. En los ocho proyectos informados en el conjunto de datos de ASCC, todos tuvieron una desviación negativa (el espesor promedio fue menor que el espesor especificado). En los 12 proyectos informados en la Tabla 5, solo cuatro tuvieron desviaciones negativas con respecto al espesor especificado. La misma tendencia se encontró en las losas sobre suelo cepilladas con pendiente y en las losas sobre suelo cepilladas con alabeo (Tabla 10). Nuevamente, esto podría deberse simplemente a que la calidad de la construcción ha mejorado desde la década de 1980.

**Tabla 10:**  
Valores medios por encima o por debajo del espesor especificado

Tipo de losa y de terminación superficial	Fuente de los datos	Número de ejecuciones de proyectos	Desviación media con respecto al espesor especificado	
			Especificado por encima	Especificado por debajo
Niveladas con llanura dura	Suprenant y Malisch <sup>16</sup>	8	0	8
	Comité ACI 330	12	8	4
Cepilladas con pendiente	Comité ACI 330	15	13	2
Cepilladas con alabeo	Comité ACI 330	5	3	2

## Variaciones del espesor del pavimento de las carreteras

Las recomendaciones de este artículo solo se aplican a losas interiores sobre suelo terminadas con llana dura y losas de estacionamiento exteriores y pavimentos de obras. Los conjuntos de datos obtenidos por el Comité ACI 330 no se recopilaban en carreteras. Los departamentos de transporte estatales tienen sus propios criterios de control del espesor y las penalidades. Sin embargo, puede ser útil comparar la variación de espesor en los pavimentos de las carreteras con la variación observada en los de las losas de estacionamiento. Kim y McCullough<sup>17</sup> informaron desviaciones estándar en el espesor medido de 0.44, 0.34, 0.44, 0.52, 0.47 y 0.63 pulgadas en proyectos de pavimentos individuales en Texas. El promedio ponderado *SD* fue 0.48 pulg., que concuerda bien con la *SD* promedio de 0.52 pulg. para losas de estacionamiento cepilladas con pendiente que se muestra en este estudio.

### Se trata de la subbase

Los contratistas de hormigón han identificado durante mucho tiempo las variaciones en los niveles de la subbase como el factor principal en las variaciones de espesor del pavimento. La Tabla 11 muestra los valores de la *MD* y de la *SD* para los niveles de la superficie inferior y superior. Los valores de la *SD* para las superficies inferiores son mayores que los valores de la *SD* para las superficies superiores.

**Tabla 11:**  
**Promedio ponderado de los valores medidos del nivel de la superficie inferior (subbase) y de los de la superficie superior (hormigón)**

Tipo de losa y terminación superficial	Número de ejecuciones	Número de muestras	Superficie inferior (subbase), pulg		Superficie superior (hormigón), pulg	
			<i>MD</i>	<i>SD</i>	<i>MD</i>	<i>SD</i>
Niveladas con llana dura	12	405	-0.07	0.34	0.04	0.15
Cepilladas con pendiente	2	60	NA	NA	NA	NA
Cepilladas con alabeo	5	151	-0.07	0.93	0.14	0.68

**Nota:** *MD* = desviación media con respecto al valor especificado, *SD* = desviación standard

Las dos últimas ejecuciones enumeradas en la Tabla 6 fueron realizadas por el mismo contratista, pero con diferentes equipos de nivelación. La *SD* para el proyecto con una subbase terminada con una topadora (y una línea de hilo) fue de 0.87, mientras que la *SD* para el proyecto con una subbase terminada con una niveladora robótica fue de 0.20, una mejora significativa. La *SD* del espesor también mostró una mejora significativa, de 0.94 a 0.52.

Si bien los datos son limitados, brindan una fuerte indicación de que un mejor control de la nivelación de la subbase da como resultado una reducción de la *SD* del espesor del pavimento. Los datos también muestran que la tolerancia de nivelación de la subbase indicada en la ACI 117-10 (15) de  $\pm 3/4$  pulg. podría ser difícil de lograr.

## Limitar el espesor de las muestras a 3/4 de pulgada del espesor especificado

Para el cálculo del espesor promedio, la ACI 117-10 (15), Sección 4.5.4.5, requiere que “las muestras con un espesor de más de 3/4 pulg. por encima del espesor especificado, deben asumirse que tienen un espesor de 3/4 pulg. mayor que el espesor especificado”. El motivo de esta limitación es desalentar la colocación de un hormigón de mucho espesor en un determinado lugar del pavimento para compensar al hormigón de menor espesor colocado en otro lugar. En otras palabras, este ítem enfatiza la importancia de minimizar las grandes variaciones en el espesor del hormigón.

Las tablas 12, 13 y 14 proporcionan el espesor promedio calculado a partir de todas las muestras y luego el calculado a partir de todas las muestras con un límite de espesor no mayor de 3/4 de pulgada por encima del espesor especificado. Limitar el espesor al especificado más 3/4 de pulgada redujo el espesor promedio en algunos casos en aproximadamente 1/8 de pulgada. En estos casos, el espesor promedio ya era mayor que el especificado, por lo que el ajuste del espesor promedio de acuerdo con la Sección 4.5.4.5 afectó el cumplimiento de la especificación. Para los casos en los que el espesor promedio fue menor que el especificado, las *SD* fueron lo suficientemente bajas como para que no hubiera muestras “de gran espesor” para excluir. Estas tendencias son esperables de acuerdo al buen control de calidad que muestran las desviaciones estándar exhibidas por los contratistas que participaron en el estudio, pero no está claro cómo se aplicaría esto a la población objetivo.

**Tabla 12:**  
**Valores de espesor calculados para losas sobre suelo niveladas con llana dura**

Espesor especificado pulg	Espesor promedio pulg	Número de muestras con espesores > 3/4 pulg, sobre el espesor especificado	Espesor promedio pulg *	Espesor promedio menos el espesor promedio acotado, pulg.
6	6.71	15	6.55	0.16
6	6.47	6	6.43	0.02
8	8.37	4	8.35	0.02
7	6.94	1	6.95	0.00
8	7.68	0	7.68	0.00
5	5.11	2	5.09	0.02
10	10.11	1	10.10	0.01
8	7.68	0	7.68	0.00
6	6.01	0	6.01	0.00
7	7.53	11	7.49	0.04
6	6.04	0	6.04	0.00
7	7.32	1	7.30	0.02

Calculado usando \* el espesor de muestra acotado según ACI 117-10 (15), Sección 4.5.4.5

**Tabla 13:****Valores de espesor calculados para losas sobre suelo cepilladas con pendiente**

Espesor especificado, pulg	Espesor promedio, pulg	Número de muestras con espesores > ¾ pulg, sobre el espesor especificado	Espesor promedio, pulg*	Espesor promedio menos el espesor promedio acotado, pulg.
6	6.02	1	6.01	0.01
7	7.52	0	7.52	0.00
12	12.05	6	12.03	0.02
12	12.33	7	12.29	0.04
12	12.03	2	12.03	0.00
12	12.17	3	12.12	0.05
12	12.37	10	12.27	0.10
12	12.15	1	12.14	0.01
12	11.69	0	11.69	0.00
12	12.01	4	11.98	0.02
6	6.49	8	6.37	0.12
7	7.19	2	7.14	0.05
7	7.30	7	7.22	0.08
8	8.42	10	8.19	0.23
8	7.48	1	7.45	0.03

Calculado usando \* el espesor de muestra acotado según ACI 117-10 (15), Sección 4.5.4.5

**Tabla 14:****Valores de espesor calculados para losas sobre suelo cepilladas con alabeo**

Ejecución	Espesor especificado, pulg	Espesor promedio, pulg	Número de muestras con espesores > ¾ pulg, sobre el espesor especificado	Espesor promedio, pulg	Espesor promedio menos el espesor promedio acotado, pulg.
1	6	6.36	7	6.25	0.11
2	6	6.68	2	6.63	0.05
3	7	6.64	4	6.56	0.08
4	7	6.69	3	6.60	0.09
5	7	7.03	6	7.00	0.03

Calculado usando el espesor de muestra acotado según ACI 117-10 (15), Sección 4.5.4.5

## Sesgo de la muestra

El conjunto de datos recopilados por el Comité 330 de ACI representa la construcción de losas de hormigón sobre suelo por parte de los contratistas del Comité ACI 330 que se ofrecieron como voluntarios para recopilar datos. Se obtuvieron para la oportunidad y por lo tanto no es una muestra aleatoria. A través de su participación en las actividades de ACI y ASCC, estos contratistas muestran un alto nivel de interés en la ejecución de calidad y pueden no ser representativos de la población total. Por lo tanto, el análisis estadístico por sí solo, con este conjunto de datos, no se puede utilizar para extrapolar a la población objetivo. Se necesita hacer un juicio para estimar cómo esta muestra obtenida para la oportunidad puede representar a la población objetivo. La Figura 4 ilustra que se puede esperar que esta muestra de oportunidad represente la mitad “mejor” de la población objetivo.

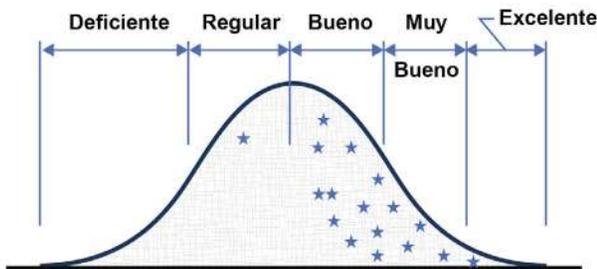


Fig. 4: Expectativa de donde cae el conjunto de datos del Comité ACI 330 dentro de la población objetivo

### De la muestra para la oportunidad del ACI a la población objetivo

La pregunta principal es cómo dirigir los datos del Comité 330 del ACI, e incluso los datos de la ASCC, hacia la distribución de la población objetivo. Se considera que los datos de los voluntarios del Comité 330 del ACI son representativos de un trabajo de bueno a excelente. Los datos de ASCC, recopilados de losas con problemas de espesor, se considera que son representativos de un trabajo regular o deficiente. La Figura 5 ilustra los dos conjuntos de datos con una distribución hipotética de la población de espesores.

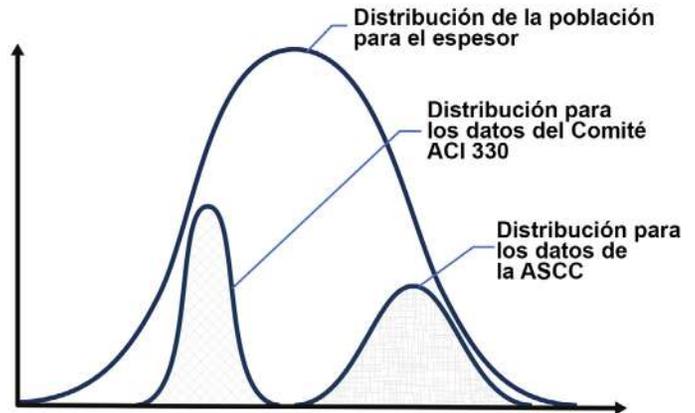


Fig. 5: Ilustración esquemática de las ubicaciones esperadas del conjunto de datos del Comité ACI 330 y de la ASCC dentro de la distribución de población Fig. 5: Ilustración esquemática de las ubicaciones esperadas del conjunto de datos del Comité ACI 330 y de la ASCC dentro de la distribución de población

Sugerimos que los niveles de control de los espesores de las losas sobre suelo podrían expresarse de manera similar a la ACI 214R-11, “Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del hormigón”,<sup>18</sup> Tablas 4.3 y 4.4, estándares de control del hormigón. Es decir, los niveles de control del espesor — excelente, muy bueno, bueno, regular y deficiente — podrían evaluarse mediante la desviación estándar.

La Tabla 15 proporciona los valores de desviación estándar que asociamos con diferentes niveles de control de espesor. La base principal para estimar la desviación estándar en cada nivel se basa en:

- La desviación estándar promedio de la muestra sesgada tomada para la oportunidad debe estar en el nivel “muy bueno”; y
- La desviación estándar más baja de la muestra sesgada tomada para la oportunidad debe estar en el nivel “bueno”.

**Tabla 15:**  
**Niveles de control del espesor para losas sobre suelo**

Tipo de losa y de terminación superficial	SD para diferentes niveles de control de espesores, pulg				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Deficiente
Niveladas con llana dura	Debajo 0.30	0.30 a 0.37	0.38 a 0.45	0.46 a 0.53	Sobre 0.53
Cepilladas con pendiente	Debajo 0.45	0.45 a 0.52	0.53 a 0.60	0.61 a 0.68	Sobre 0.68
Cepilladas con alabeo	Debajo 0.70	0.70 a 0.80	0.81 a 0.90	0.9 a 1.00	Sobre 1.00

Nota: SD = desviación estándar

## Recomendaciones de tolerancia para losas sobre suelo

Si bien algunos estándares de tolerancia proporcionan diferentes tolerancias para diferentes niveles de calidad, la especificación ACI 117 actual no lo hace. Más bien, el Comité 117 de ACI seleccionó una tolerancia única para lo que consideró un nivel de calidad razonable para la variedad de losas de hormigón sobre suelo construidas en los Estados Unidos. Sin embargo, la especificación ACI 117 permite al especificador definir una tolerancia alternativa dentro de las especificaciones del proyecto, para proporcionar el nivel de calidad necesario para ese proyecto. Por lo tanto, recomendamos que el punto de partida inicial para seleccionar una tolerancia de espesor sea permitir dos desviaciones estándar por debajo del espesor especificado, basado en un nivel “regular” de control de espesor (Tabla 15). Esto equivale a tener menos de aproximadamente el 3% de los valores de espesor por debajo del espesor especificado menos la tolerancia.

Sin embargo, la tolerancia también se puede modificar en función de la experiencia y el juicio sobre el proyecto. El Comité 117 de ACI ha sido típicamente conservador al desarrollar nuevas tolerancias basadas en datos limitados, y se puede esperar que el Comité 117 ACI-ASCC conjunto se equivoque hacia el lado de los valores bajos bajo en lugar de cambiar agresivamente una tolerancia.

Por lo tanto, nuestras recomendaciones para las tolerancias en muestras individuales para la construcción de losas sobre suelo son:

Niveladas con llana dura:  $0.53 \times 2 = 1.06$  (según nuestro criterio, usar 1 pulgada);  
 Cepilladas con pendiente:  $0.68 \times 2 = 1,36$  (según nuestro criterio, usar 1-1 / 4 pulg.); y  
 Cepilladas con alabeo:  $1,00 \times 2 = 2,00$  (según nuestro criterio, usar 1-1 / 2 pulg.).

Estas tolerancias se resumen en la Tabla 16, junto con nuestras recomendaciones para la tolerancia en el nivel de la subbase de suelo granular fino de la losa sobre el suelo y la tolerancia en el espesor promedio. Como se requiere actualmente en la ACI 117, Sección 4.5.4, el espesor promedio debe calcularse utilizando valores de muestras acotados por el espesor especificado más la tolerancia en muestras individuales.

**Tabla 16:**  
**Recomendaciones de tolerancias para losas sobre suelo**

Tipo de losa y de terminación superficial	Tolerancia de nivel, pulg.	Valor de X a utilizar en el cálculo del espesor promedio, pulg.	Tolerancias de espesor por debajo del espesor especificado, pulg.	
	Suelo granular fino inmediatamente debajo	Espesor de la muestra individual = mínimo del espesor de la muestra o (X + el espesor especificado)	Promedio de todas las muestras	Muestra individual
Niveladas con llana dura	±1	1	-3/8	-1
Cepilladas con pendiente	±1-1/4	1-1/4	-3/8	-1-1/4
Cepilladas con alabeo	±1-1/2	1-1/2	-3/8	-1-1/2

Nuestras recomendaciones para las tolerancias de las losas sobre suelo se basan en los datos citados y en nuestras experiencias en la construcción e inspección de losas. Reconociendo que muchos de los datos se obtuvieron para la oportunidad de este estudio, pedimos que otros compartan sus datos y experiencias para poder realizar ajustes más finos de estas recomendaciones para la industria.

## Referencias

1. ACI Committee 117, “Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary (ACI 117-06),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006, 70 pp.

2. 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.

3. ACI Committee 302, “Guide to Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-15),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 76 pp.

4. ACI Committee 330, “Commercial Concrete Parking Lots and Site Paving Design and Construction—Guide (ACI PRC-330-21),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 48 pp.

5. ACI Committee 117, “Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-81),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1981, 9 pp.

6. ACI Committee 117, “Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-90),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1990, 12 pp.

7. ACI Committee 330, “Standard Specifications for Plain Concrete Parking Lots (ACI 330.1-94),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1994, 7 pp.

8. ACI Committee 330, “Specification for Unreinforced Concrete Parking Lots (ACI 330.1-03),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 6 pp.

9. ACI Committee 330, “Specification for Unreinforced Concrete Parking Lots and Site Paving (ACI 330.1-14),” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 8 pp.

10. Gustaferro, A.H., “Are Thickness Tolerances for Concrete Floors on Ground Realistic?” *Concrete Construction*, V. 34, No. 4, Apr. 1989, pp. 389-391.

11. Gustaferro, A.H., and Tipping, E., “Slab Thickness Tolerances: Are They Realistic?” *Concrete Construction*, V. 45, No. 6, June 2000, pp. 66-67.

12. CAN/CSA A23.1-00/A23.2-00, "Concrete Materials and Methods of Concrete Construction/ Methods of Prueba for Concrete," CSA Group, Mississauga, ON, Canada, 2000, 362 pp.

13. ACI Committee 330, "Guide for the Design and Construction of Concrete Site Paving for Industrial and Trucking Facilities (ACI 330.2R-17)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 67 pp.

14. ACI Committee 360, "Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 72 pp.

15. ACI Committee 302, "Guide to Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-15)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 76 pp.

16. Suprenant, B.A., and Malisch, W.R., "Tolerances for Cast-in-Place Concrete Buildings," American Society of Concrete Contractors, St. Louis, MO, 2009.

17. Kim, S.-M., and McCullough, B.F., "Reconsideration of Thickness Tolerance for Concrete Pavements," Report No. FHWA/TX-03/4382-1, Texas Department of Transportation, Austin, TX, 2002, 98 pp.

18. ACI Committee 214, "Guide to Evaluation of Strength Prueba Results of Concrete (ACI 214R-11)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2011, 16 pp.

Recibido y revisado bajo las políticas de publicación del Instituto.



**Eldon Tipping**, Miembro Honorario del ACI, es Director y Vicepresidente de Structural Services, Inc., Waxahachie, TX, EE. UU. Es miembro del Comité Conjunto 117 de ACI-ASCC, Tolerancias, y de los Comités del ACI 132, Responsabilidad en las Construcciones de Hormigón; 302, Construcción de Pisos de hormigón; 330, Playas de Estacionamiento de Hormigón y Pavimentación de Obras; y 360, Diseño de Losas sobre Suelo.



**Peter J. Ruttura**, miembro de ACI, es Vicepresidente de Ruttura & Sons Construction, West Babylon, NY, EE. UU. Es miembro del Comité Conjunto 117 de ACI-ASCC, Tolerancias y de los Comités del ACI 302, Construcción de Pisos de Hormigón, y 330, Playas de Estacionamiento de Hormigón y Pavimentación de Obras.



**Tim Manherz**, es Especialista en Operaciones de Encore Concrete Construction, Houston, TX, EE. UU. Es Miembro de la Tilt-Up Concrete Association (TCA) y miembro de la Junta Directiva de la American Society of Concrete Contractors (ASCC). Es miembro del Comité Conjunto 117 de ACI-ASCC, Tolerancias y de los Comités del ACI 302, Construcción de Pisos de Hormigón; 330, Playas de Estacionamientos de Hormigón y Pavimentación de Obras; y 360, Diseño de Losas sobre Suelo.



**Bruce A. Suprenant**, FACI, es el Director Técnico de la ASCC, St. Louis, MO, EE. UU. Es miembro de los Comités del ACI 134, Capacidad de Construcción del Hormigón, y 302, Construcción de Pisos de Hormigón; y Comités Conjuntos ACI-ASCC 117, Tolerancias, y 310, Hormigón Decorativo. Sus honores incluyen la medalla Arthur R. Anderson ACI 2021, y los premios ACI Construction Award 2020, ACI Certification Award 2013, ACI Roger H. Corbetta Concrete Constructor Award 2010 y el ACI Construction Award 2010.



**Paul J. Beagley**, miembro de ACI, es Presidente de Phaze Concrete, Inc., Cedar City, UT, EE. UU. Es miembro del Comité Conjunto 117 de ACI-ASCC, Tolerancias y de los Comités del ACI 302, Construcción de Pisos de Hormigón, y E703, Prácticas en las Construcciones de Hormigón.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Argentina

*Título: Estableciendo tolerancias de espesor para losas de estacionamiento*



Traductor y Revisor Técnico:  
Juan Roberto Pombo

# Del conocimiento a la practica: Fundación ACI



## Se abren la recepción de solicitudes para apoyos y becas a estudiantes

La Fundación ACI ahora está aceptando solicitudes para apoyos y becas para estudiantes que buscan un título universitario relacionado con el concreto. El período actual para la presentación de solicitudes corresponde al año escolar 2022-2023. En base a los ensayos de los estudiantes, los datos educativos y las referencias que presenten los estudiantes, el Consejo de Becas de la Fundación ACI otorgará miles de dólares en apoyos y becas a los candidatos que se considere que tienen la combinación más sólida de interés y potencial de éxito profesional en la industria del concreto.

Durante muchos años, el programa de apoyos y becas de la Fundación ACI ha atraído con éxito a estudiantes con alto potencial en la industria del concreto a través de la educación y la participación en la comunidad de ACI. El programa de este año promete ser aún más exitoso, ya que se han agregado seis nuevos estímulos. Los nuevos estímulos son:

- Apoyo en memoria de Robert F. Mast;
- Apoyo Surendra.P. Shah;
- Apoyo ACI Burg-Coleman Iowa State 77;
- Nick Bada - Beca de posgrado del capítulo de ACI Ontario;
- Apoyo Nicholas F. Maloof Jr., del Capítulo de ACI Georgia; y
- Beca Master Builders Solutions Material Concrete Science.



Este año estarán disponibles, nuevos apoyos y becas de la Fundación ACI en apoyo a esos estudiantes con aspiraciones relacionadas con carreras la industria del concreto.

LeeCi

EN LINEA DE PRINCIPIO A FIN

Una versión completa del número actual de *Concrete International* está disponible para los miembros de ACI iniciando sesión en [www.concreteinternational.com](http://www.concreteinternational.com)

Haga clic en "descargar el número" en la página de inicio de la revista.

American Concrete Institute  
 Siempre avanzando

## Proyectos de Investigación Financiados en 2021

Al igual que con los apoyos y becas existentes, los estímulos más recientes de la Fundación ACI brindarán oportunidades adicionales para los estudiantes que esperan avanzar con sus carreras en la industria del concreto, al brindar ayuda financiera para cubrir libros, así como gastos de matriculación y manutención, al mismo tiempo ofrecer invaluable oportunidades de reclutamiento dentro del ACI. Para obtener más información sobre todos los estímulos que ofrece la Fundación ACI para académicos en disciplinas relacionadas con el concreto, visite

**[www.acifoundation.org/scholarships/fellowships.aspx](http://www.acifoundation.org/scholarships/fellowships.aspx)**.

Gracias a nuestros generosos donantes de toda la industria por ayudar a los estudiantes más brillantes, en un programa relacionado con el concreto. Extendemos un agradecimiento especial a Ron Burg, Jeff Coleman, Surendra Shah, el Capítulo de ACI Ontario, el Capítulo del ACI Georgia y Master Builders Solutions, por hacer posible las nuevas becas para este año. Sus esfuerzos realmente marcan la diferencia para el futuro de la industria del concreto.

Si conoce a un estudiante que se pueda beneficiar de recibir apoyo para su matriculación y relacionamiento dentro del ACI que tenga potencial para trabajar en nuestra industria, anímelo a presentar una solicitud. Esta es una oportunidad que cambia la vida de los estudiantes y, como ocurre con todos los miembros de la industria del concreto, valoramos la experiencia que puedan adquirir mediante este programa. Los solicitantes del programa deben obtener dos referencias, una de las cuales deberá extenderla un miembro del ACI que no sea estudiante. Considere respaldar a un estudiante digno.

Para solicitar un apoyo y/o beca, visite **[www.acifoundation.org/scholarships.aspx](http://www.acifoundation.org/scholarships.aspx)**. Todos los requisitos y recomendaciones para preparar la solicitud así como la preparación de los documentos para su envío también se pueden encontrar en esa dirección electrónica.

Extendemos un agradecimiento especial a todos los investigadores que se tomaron el tiempo y el esfuerzo para postularse, así como a los voluntarios del Consejo de Investigación de Concreto (CRC- Concrete Research Council) de ACI y la Fundación ACI que emprendieron la desafiante tarea de revisar las solicitudes y elegir a los ganadores de este año. Felicitaciones a los siguientes investigadores principales que recibieron proyectos de investigación para 2021:

- “Variabilidad crítica para la determinación del umbral estándar crítico de cloruros debido a la fuente de los materiales” — Ceki Halmen, investigador principal, Universidad de Missouri;
- “Análisis esfuerzo-deformación de cemento BCSA (cemento belítico base sulfo-aluminato de calcio) para aplicaciones estructurales”: Cameron D. Murray, investigador principal, Universidad de Arkansas;
- “Isotermas de desorción de cloruros para sistemas cementantes expuestos a ambientes con bajo pH”: Mahmoud Shakouri, investigador principal, Universidad de Nebraska en Kearney;
- “Mediciones de la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad de corazones de concreto de alta resistencia” — Matthew Sherman, investigador principal, y Brett Holland, co-investigador principal, Simpson Gumpertz & Heger, Inc.;
- “Requerimientos para el refuerzo transversal en columnas de UHPC (concreto de ultra-alto comportamiento) evaluación de las disposiciones ACI existentes y de los nuevos desarrollos”— Mohamed Moustafa, investigador principal, Universidad de Nevada, Reno;
- “Desarrollo de guías para el reacondicionamiento con FRP (polímeros reforzados con fibras) para sistemas resistentes a cargas laterales horizontales con refuerzo deficiente”: Eric Jacques, investigador principal, y Matthew Eatherton, co-investigador principal, Instituto Politécnico de Virginia y Universidad Estatal de Virginia;

- “Comportamiento a cortante del concreto fibroreforzado con macro fibras sintéticas”— Travis Thonstad, investigador principal, y Paolo M. Calvi, co-investigador principal, Universidad de Washington; y “Minimum Design Requirements for Insulated Concrete Form Wall Systems”: Laura Lowes, investigador principal, y Dawn Lehman, co-investigador principal, Universidad de Washington.

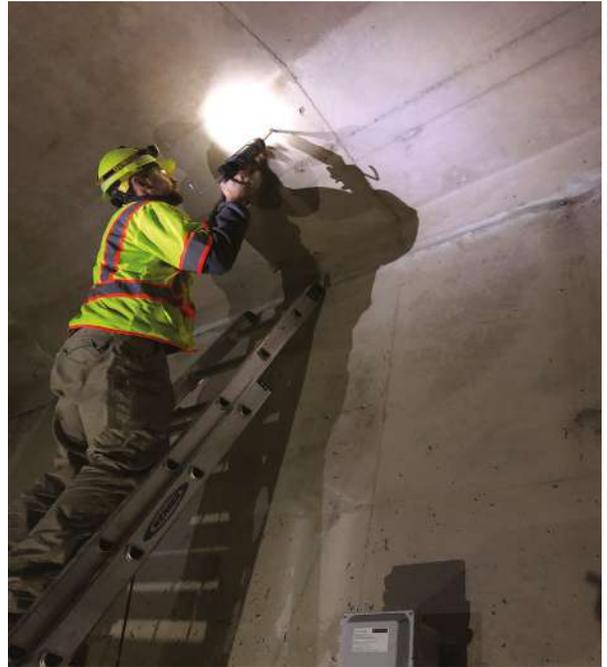
## La solicitud anual de propuestas de investigación abre el 1 de agosto

La Solicitud de propuestas de investigación (RFP - Request for Research Proposals) abrirá el 1 de agosto de 2021 y cerrará el 1 de diciembre de 2021. Un requisito importante de la RFP es obtener el apoyo de al menos un Comité Técnico de ACI. Los investigadores principales deben comunicarse con el presidente del comité correspondiente antes del 17 de septiembre de 2021, para que la solicitud se pueda agregar como un tema de discusión a la agenda del comité en la Convención de ACI de otoño. Obtenga más detalles acerca del proceso de aplicación en línea, del formulario de Apoyo del Comité Técnico del ACI y la Guía de apoyos económicos de la CRC en [www.acifoundation.org/research](http://www.acifoundation.org/research). El acceso en línea para postularse se abrirá el 1 de agosto en la misma página electrónica.

## Foros Tecnológicos del Consejo para el Desarrollo Estratégico de la Fundación del ACI

La Fundación ACI celebró virtualmente el foro tecnológico No.49 del Consejo para el Desarrollo Estratégico (SDC- Strategic Development Council). Los comentarios de nuestros asistentes demostraron que el evento fue un gran éxito. Nuestro próximo foro tecnológico No.50, se llevará a cabo virtualmente del 24 al 26 de agosto de 2021.

Los foros siempre han brindado un espacio para que los profesionales aprendan y se reúnan. Si bien es nuestra preferencia reunirnos en persona, estamos monitoreando la pandemia en curso y actualizaremos la logística de las reuniones en [www.acifoundation.org/technology/forums.aspx](http://www.acifoundation.org/technology/forums.aspx).



El llamado anual de la Fundación ACI para el envío se abrirá el 1 de agosto de 2021



Los foros tecnológicos SDC ofrecen espacios para que los profesionales aprendan. El próximo evento se llevará a cabo de manera virtual del 24 al 26 de agosto de 2021.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Noroeste.

*Título: Del conocimiento a la práctica: Fundación ACI*



Traductor:  
Cristian Silva



Revisor Técnico:  
Ing. Genado Salinas

# Profundidad efectiva de columnas rectangulares y circulares para cálculos de resistencia a cortante

*Se propone un procedimiento de diseño sencillo*

*por Halil Sezen, Sergio M. Alcocer y Jack P. Moehel*

De acuerdo con la Sección 22.5.1.1 de los "Requisitos de reglamento para concreto estructural ACI 318-19"<sup>1</sup> la resistencia nominal al cortante en una sección  $V_n$  es la suma de las contribuciones del concreto  $V_c$  y del refuerzo  $V_s$ . Para elementos no preesforzados,  $V_c$  se calcula de acuerdo con la Tabla 22.5.5.1 y  $V_s$  se calcula según la Sección 22.5.8.5.3. Ambas contribuciones están en función de la profundidad efectiva del elemento  $d$ , definido como tensión longitudinal, en pulgadas"

Si bien en concepto es sencillo, el cálculo de  $d$  es complicado para columnas, porque la mayoría de los elementos de columna tienen capas múltiples de refuerzo longitudinal y la profundidad del eje neutro (y por tanto, el centroide del refuerzo de tensión longitudinal) varía con la fuerza axial y momento en una sección. Como resultado, incluso si todas las columnas de una estructura son idénticas, sus profundidades efectivas pueden diferir. Este artículo presenta un procedimiento que simplifica la determinación de  $V_n$  para columnas de concreto reforzado eliminando la necesidad de calcular la profundidad de eje neutro.

## Resistencia Nominal al Cortante

Los criterios para diseño de cortante unidireccional de elementos no preesforzados se actualizaron en la edición 2019 de ACI 318.<sup>2</sup> Las ecuaciones nuevas para el cálculo de  $V_c$  aparecen en este artículo como ecuación (1) a la (3)

$$1) \quad V_c = \left[ 2\lambda\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right] b_w d$$

$$2) \quad V_c = \left[ 8\lambda(\rho_w)^{1/3}\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right] b_w d$$

$$3) \quad V_c = \left[ 8\lambda_s\lambda(\rho_w)^{1/3}\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g} \right] b_w d, \text{ Si } A_v < A_{v,min}$$

donde  $f'_c$  es la resistencia específica a la compresión del concreto;  $\lambda$  es el factor de modificación para concreto ligero;  $N_u$  es la fuerza axial mayorada (positiva para compresión y negativa para tensión);  $A_g$  es el área bruta de la sección del concreto;  $\rho_w = A_s / (b_w d)$  donde  $A_s$  es el área del refuerzo de tensión longitudinal no preesforzada; y  $\lambda_s$  es el factor de efecto del tamaño. Tal como puede observarse,  $V_c$  depende del área de cortante efectiva, que se calcula como el producto de  $d$  y  $b_w$ , definido como el ancho del alma o diámetro de la sección circular. Deberá utilizarse la ecuación (3) si  $A_v < A_{v,min}$ , donde  $A_v$  y  $A_{v,min}$  son el área y el área mínima de refuerzo de cortante dentro del espaciamiento  $s$ , respectivamente ( $A_{v,min}$  se define en la Sección 10.6.2 de ACI 318-19). De lo contrario, pueden utilizarse ya sea la Ecuación (1) o (2) para calcular  $V_c$ .

En el procedimiento presentado en este artículo, se utiliza la mayor resistencia a cortante del concreto de las Ecuaciones (1) y (2) cuando  $A_v \geq A_{v,min}$ .

$V_s$  se define en la Sección 22.5.8.5.3

$$4) V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$$

donde  $f_{yt}$  es la resistencia específica a la fluencia del refuerzo transversal. Como cuestión práctica, el valor de  $d$  en la Ecuación (4) debe ser el mismo que el valor utilizado para calcular  $V_c$ , empleando la Ecuación (1), (2) o (3).

## Antecedentes sobre la Profundidad Efectiva para el Diseño

La definición de profundidad efectiva  $d$  ha permanecido esencialmente sin cambios desde que se definió al inicio como “profundidad desde la superficie de compresión hasta c.g. [centroide] de acero a tensión” en la versión de 1920 de lo que se convertiría en el Código de Construcción de ACI,<sup>3</sup> y “profundidad desde la superficie de compresión de la viga o losa hasta el centro del refuerzo de tensión longitudinal” en la versión de 1927.<sup>4</sup> Para columnas circulares, ACI 318-19 permite que se tome  $d$  como 0.8 veces el diámetro. Esta disposición se introdujo por primera vez en la Sección 11.3.3 de ACI 318-99.<sup>5</sup> La Sección R11.3.3 de Comentarios que se acompaña indica que el área efectiva de secciones circulares “puede tomarse como el área bruta de la sección o como un área rectangular equivalente,” basándose en referencias allí citadas (consulte Comité Conjunto ACI-ASCE 426,<sup>6</sup> Faradji y Díaz de Cossio,<sup>7</sup> y Khalifa y Collins<sup>8</sup>).

El texto y las referencias citadas permanecen en la edición 2019 del Código ACI 318, en la Sección R22.5.2.2. Es de interés observar que el informe del Comité Conjunto ACI-ASCE 426, basado en la revisión de pruebas de columnas que fallaron en cortante descrita en las Referencias 7 y 9, recomendó que las ecuaciones de diseño de ACI para secciones rectangulares podrían aplicarse para secciones circulares si se utiliza el diámetro externo en lugar de la profundidad efectiva y si se utiliza el área bruta para el producto  $b_w d$ . Además, Khalifa y Collins

reportaron que las resistencias medidas fueron mayores a los valores calculados utilizando  $d = 0.74D$ , donde  $D$  es el diámetro de la columna.

## Un Procedimiento Simplificado

Para el desarrollo del procedimiento aquí propuesto para el cálculo de  $V_n$  para columnas, se evaluaron los valores propuestos de  $d$  comparando las resistencias a la cortante calculadas  $V_n$  con aquellas medidas en las pruebas de columna  $V_{prueba}$ , incluidas en las bases de datos de columnas PEER/ACI 369/NEESR para columnas con secciones rectangulares y circulares.<sup>10,11</sup>

Estas bases de datos comprenden pruebas de columnas bajo cargas laterales monotónicas y cíclicas. Los principales parámetros proporcionados en estas bases de datos son:

- Relaciones de refuerzo transversal y longitudinal  $\rho_t$  y  $\rho_p$ , respectivamente;
- Relación tramo a profundidad de cortante  $a_v / d$ ;
- Resistencia a la compresión del concreto  $f'_c$ ;
- Resistencias a la fluencia de refuerzo transversal y longitudinal  $f_{yt}$  y  $f_{yp}$ , respectivamente;
- Relación de carga axial inicial  $P/(A_g f'_c)$ .

El rango, valores medios y desviaciones estándar de estos parámetros pueden encontrarse en alguna otra parte.<sup>12</sup> En estas bases de datos, para columnas rectangulares, la profundidad efectiva reportada es la distancia desde la superficie de la compresión al centroide de la capa más exterior de acero de tensión. Para columnas circulares, la profundidad efectiva se reporta como 0.8 veces el diámetro.

Fuera de las 326 columnas rectangulares y 172 circulares incluidas en las bases de datos, se identificaron fallas de 52 columnas rectangulares y 55 circulares, como controladas por cortante. En este estudio, sólo se incluyen columnas cuya falla fue controlada por cortante. La falla de una columna dominada por cortante a la flexión o dominada por flexión está principalmente influenciada por la resistencia a la flexión de la columna, de manera que se excluyeron las columnas que muestran esas fallas.

El modo de falla se clasifica basándose en la relación de demanda de cortante que es resultado de la fluencia por flexión de rótulas plásticas  $V_{yE}$  (calculadas utilizando la resistencia a fluencia específica  $f_y$  para el refuerzo longitudinal), a resistencia nominal a la cortante  $V_{co/0E}$  tal como lo recomienda ASCE/SEI 41.<sup>13</sup>  $V_{co/0E}$  se calculó utilizando la Ecuación (3) en ACI 369.1-17,<sup>14</sup> que considera la reducción en la resistencia a la cortante de columnas con incremento en deformaciones no lineales. Por lo tanto, las columnas de las bases de datos se clasificaron de acuerdo con la relación de  $V_{yE} / V_{co/0E}$  de la siguiente forma:

- Dominado por flexión si  $V_{yE} / V_{co/0E} \leq 0.6$ ;
- Dominado por cortante a flexión si  $0.6 < V_{yE} / V_{co/0E} < 1.0$ ; y
- Dominado por cortante si  $V_{yE} / V_{co/0E} > 1.0$ .

Durante nuestro examen de las bases de datos, encontramos que algunas columnas con refuerzo longitudinal multicapa tenían entradas incorrectas o información faltante en la ubicación (profundidad) y tamaño de las barras longitudinales, de manera que modificamos esta información antes de llevar a cabo los análisis.

## Cálculo para la profundidad efectiva de las secciones rectangular y circular

La distancia desde la fibra de compresión extrema hasta el centroide del refuerzo de tensión longitudinal se denomina  $d_T$  en este artículo. Esto corresponde a la definición de profundidad efectiva de la Sección 2.2 en CI 318-19. Para cada una de las columnas rectangular y circular controladas por cortante en las bases de datos,  $d_T$  se calculó utilizando la geometría reportada, propiedades medidas de material y carga axial aplicada. En el caso de columnas circulares, se supuso que había una barra longitudinal en cada extremo y dos barras en cada una de las capas intermedias. Se asumieron secciones del plano para calcular perfiles de deformación. En la falla por cortante, se asumió que la deformación por compresión y el esfuerzo del concreto variaron linealmente desde cero en el eje neutro hasta un máximo en la fibra de compresión. Por lo tanto, la fuerza de compresión total en el concreto se encontró integrando los esfuerzos sobre el área en compresión. Se ignoró la resistencia a la tensión del concreto.

La profundidad del eje neutro se calculó reiteradamente hasta que la compresión interna y las fuerzas de tensión en la sección estuvieron en equilibrio con la carga axial aplicada en la columna. En el equilibrio de momentos, la deformación máxima calculada del concreto varió entre 0.0008 y 0.0022 para las columnas de prueba controladas por cortante consideradas en este estudio, justificando así la variación lineal supuesta de la deformación.

## Metodología utilizada para cálculo de la resistencia nominal a la cortante

Para los dos casos descritos en los siguientes párrafos, se obtuvo  $V_n$  agregando las contribuciones de concreto y refuerzo de cortante, de acuerdo con los requerimientos de ACI 318-19. La contribución del concreto se calculó utilizando la Ecuación (1), (2) o (3). Para las columnas rectangulares, dominaron las Ecuaciones (1), (2) y (3) en los cálculos para las columnas 33, 2 y 17, respectivamente. Para las columnas circulares, la Ecuación (1) controló en 41 casos y la Ecuación (3) controló en 14 casos.

La contribución de refuerzo se calculó con la Ecuación (4) utilizando el mismo valor de  $d$  que se utilizó para la contribución de concreto. Se determinó el valor propuesto de  $d$  comparando  $V_n$  con la resistencia a la cortante medida  $V_{prueba}$  de las columnas que fallaron en la cortante. Se consideraron dos casos:

- Caso 1:  $d_T$ ; es decir,  $d$  es la distancia desde la fibra de compresión extrema hasta el centroide del refuerzo de tensión longitudinal; y
- Caso 2:  $d = ah$  o  $d = \alpha D$ , donde  $h$  es la altura de la sección transversal para columnas rectangulares y  $D$  es el diámetro de las columnas circulares. En nuestro estudio, variamos el factor  $\alpha$  desde 0.70 hasta 0.90 en incrementos de 0.05 para determinar un valor óptimo para el diseño. A manera de recordatorio, ACI 318-19, Sección 22.5.2.2, permite que se tome  $d$  como igual a  $0.80D$  para columnas circulares.

## Análisis de Profundidad Efectiva y Resistencia a Cortante de Columnas Rectangulares

Los resultados de  $V_{prueba}/V_n$  para el Caso 1 ( $d = d_T$ ) y para el Caso 2 (únicamente para  $d = 0.80h$ ) se muestran en la Figura 1(a) y 1(b) respectivamente. Para el Caso 1, la media ( $M$ ), desviación estándar ( $SD$ ) y coeficiente de variación ( $CV$ ) para  $V_{prueba}/V_n$  son 1.32, 0.58 y 0.44 respectivamente. Para el Caso 2,  $M$ ,  $SD$  y  $CV$  para  $V_{prueba}/V_n$  son 1.24, 0.48 y 0.39 respectivamente. Los valores  $M$ ,  $(M + SD)$  y  $(M - SD)$  se muestran en las gráficas. Los resultados indican que las resistencias a la cortante calculadas para el Caso 1 (es decir, utilizando la definición de  $d = d_T$ ) del Código ACI 318) fueron ligeramente menos exactas y mostraron más dispersión que aquellas del Caso 2 con  $d = 0.80h$ . Observe que los valores  $V_{prueba}/V_n$  no varían con la carga axial. Asimismo, observe que un punto de datos para el Caso 1 y tres puntos de datos para el Caso 2 caen por debajo de la línea  $(M - SD)$ , aunque dos de los últimos tres puntos de datos están casi en la línea  $(M - SD)$ . Para el diseño, en este artículo se recomienda  $d = 0.80h$  porque es más sencillo y conduce a una mejor aproximación de  $V_n$ , con menos dispersión que el Caso 1 ( $d = d_T$ ). Asimismo, cuando el valor  $(M - SD)$  se divide entre el factor de reducción de resistencia a cortante  $\phi = 0.75$ , todas las resistencias calculadas son conservadoras (Figura 1(a)).

Se llevaron a cabo análisis similares para otros valores de  $\alpha$  y para columnas con secciones transversales rectangulares y circulares. En la Tabla 1, la media  $V_{prueba}/V_n$  y  $SD$  (entre paréntesis) se muestra para cada profundidad efectiva o valor  $\alpha$ . A partir de los valores mostrados en la tabla, resulta evidente que en la mayoría de los valores de  $\alpha$  (Caso 2), los cálculos de resistencia produjeron valores de  $V_{prueba}/V_n$  de media más cercanos a 1.0 y con menos dispersión ( $SD$  más pequeña) que aquellos obtenidos utilizando  $d_T$  (Caso 1).

La distribución de las profundidades efectivas normalizadas para  $h$  para columnas de la base de datos de columnas rectangulares se grafica en la Figura 2. Los marcadores abiertos en la gráfica corresponden a una profundidad efectiva  $d_i$ , definida como la distancia entre la fibra de compresión extrema y el centroide de la capa más alejada del refuerzo por tracción, en tanto que el marcador lleno corresponde a  $d_T$ , que es coherente con la definición de ACI 318-19. En la base de datos dieciséis columnas tuvieron dos capas de refuerzo de acero longitudinal, una en compresión y una en tensión, cerca de cada extremo de la sección; para estos casos,  $d_i$  y  $d_T$  son idénticos porque  $d_T$  no está afectado por la profundidad del eje neutro. Se deduce claramente que para la mayoría de los casos  $d_T/h$  varió entre 0.70 y 0.75 con  $M = 0.76$ ,  $SD = 0.08$  y  $CV = 0.11$ . En contraste,  $d_i/h$  tuvo  $M = 0.87$  y mostró desviaciones más pequeñas con  $SD = 0.03$  y  $CV = 0.03$ . La dispersión baja encontrada en los valores calculados de  $d_i$  y  $d_T$  contribuye a la buena calidad de los cálculos de resistencia a la cortante. En la Figura 2, es evidente una ligera tendencia de incremento  $d_T/h$  con carga axial.

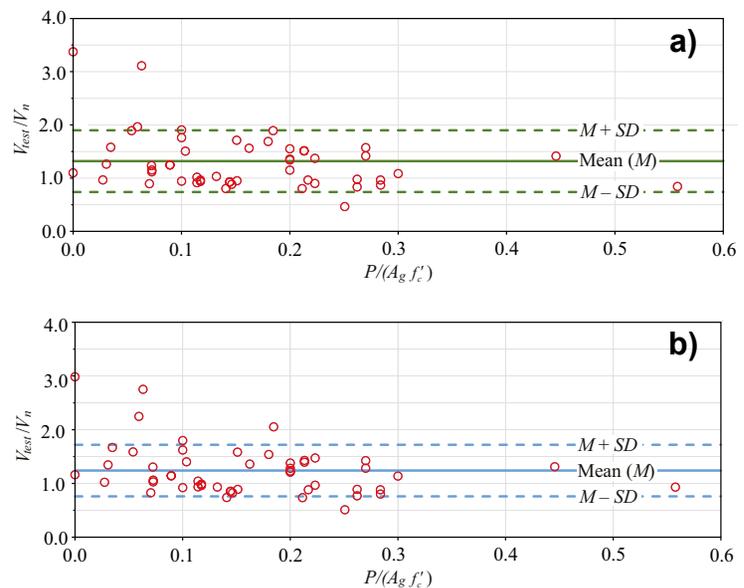


Fig. 1:  $V_{prueba}/V_n$  versus  $P/(A_g f'_c)$  para columnas rectangulares: (a)  $V_n$  se calculó utilizando  $d = d_T$  para  $V_c$  y  $V_s$ ; y (b)  $V_n$  se calculó utilizando  $d = 0.80h$  para  $V_c$  y  $V_s$ .

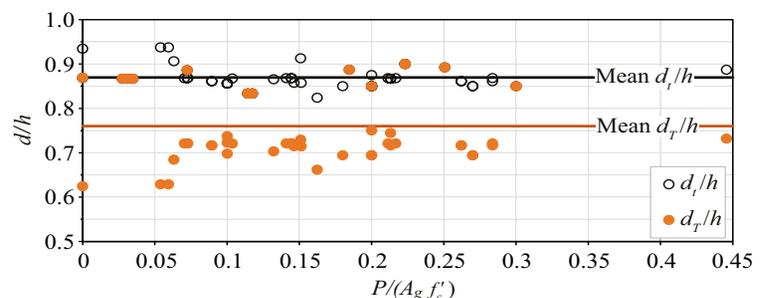


Fig. 2: Profundidad efectiva de columna rectangular normalizada a la profundidad de columna versus  $P/(A_g f'_c)$ .

**Tabla 1: Media de  $V_{prueba}/V_n$  y desviación estándar de  $V_{prueba}/V_n$  calculado utilizando los valores indicados de  $d$  para columnas rectangulares y circulares.**

Tipo de columna	Media de $V_{prueba}/V_n$ (desviación estándar de $V_{prueba}/V_n$ )					
	$d = d_t$	$d = 0.9h$ or $d = 0.9D$	$d = 0.85h$ or $d = 0.85D$	$d = 0.8$ or $d = 0.8D$	$d = 0.75h$ or $d = 0.75D$	$d = 0.7h$ or $d = 0.7D$
Columnas Rectangulares	1.32 (0.58)	1.10 (0.42)	1.17 (0.45)	1.24 (0.48)	1.32 (0.51)	1.42 (0.52)
Columnas Circulares	1.41 (0.33)	1.19 (0.28)	1.26 (0.29)	1.33 (0.31)	1.42 (0.33)	1.53 (0.36)

## Análisis de Profundidad Efectiva y Resistencia a Cortante de Columnas Circulares

Se llevaron a cabo análisis similares utilizando las 55 columnas circulares controladas por cortante incluidas en la base de datos. Se calcularon los valores de  $V_{prueba}/V_n$  para el Caso 1 (se calculó  $V_n$  utilizando  $d_T$ ) y para el Caso 2 (utilizando  $d = \alpha D$ ). Para el Caso 1, los valores calculados  $M$ ,  $SD$ , y  $CV$  para  $V_{prueba}/V_n$  fueron 1.41, 0.33 y 0.26, respectivamente (mostrados en la Tabla 1). Para el Caso 2 con  $\alpha = 0.80$ , los valores calculados  $M$ ,  $SD$ , y  $CV$  para  $V_{prueba}/V_n$  fueron 1.33, 0.31 y 0.23, respectivamente. Como puede observarse, el Caso 2 con  $\alpha = 0.80$  proporciona una mejor estimación de la resistencia con variación estadística más pequeña que el Caso 1 que cumple con el código.

De la Tabla 1 se deduce que para la mayoría de los valores  $\alpha$ , los cálculos de resistencia mostraron una mejor aproximación (media inferior de  $V_{prueba}/V_n$ ) con menos dispersión ( $SD$  más pequeña) que aquellos calculados utilizando la definición de  $d$  que aparece en ACI 318-19. En la Figura 3 se muestra la distribución de las profundidades efectivas de columna circular  $d_T$  normalizada a  $D$ . Los valores  $d_T/D$  tuvieron  $M = 0.91$ ,  $SD = 0.03$  y  $CV = 0.03$ . Para  $d_T$  que es coherente con las definiciones de ACI 318-19,  $d_T/D$  tuvo  $M = 0.68$ ,  $SD = 0.04$  y  $CV = 0.06$ . Tal como se observó en  $d_T/h$  para columnas rectangulares,  $d_T/D$  tiende a incrementar ligeramente la carga axial (tal como se muestra en la Figura 3).

## Procedimiento de Diseño Simplificado Propuesto para Calcular la Profundidad Efectiva

De  $M$  para  $V_{prueba}/V_n$  y de las variaciones estadísticas presentadas en la Tabla 1, se propone un planteamiento alternativo para calcular  $d$  para columnas rectangulares. Para propósitos prácticos, proponemos utilizar  $d = \alpha h$  con el mismo valor de  $\alpha$  para calcular las contribuciones de concreto y acero para  $V_n$  (Ecuación (1) a (4)).

Se recomienda el valor de  $\alpha = 0.80$  porque es más sencillo y conduce a una mejor aproximación de resistencia nominal a la cortante y menos dispersión que cuando se utiliza  $d_T$  que cumple con el código. Los valores  $V_{prueba}/(\phi V_n)$  para el Caso 1 ( $V_n$  calculado utilizando  $d_T$ ) y para el Caso 2 (utilizando  $d = 0.8h$ ) se muestran en la Figura 4. Las Figuras 4(a) y 4(b) corresponde a la Figura 1(a) y 1(b), respectivamente, donde los valores  $V_{prueba}/V_n$  calculados se dividieron entre el factor de reducción de la resistencia a cortante  $\phi = 0.75$  (consulte la Tabla 21.2.1 de ACI 318-19). En las gráficas se muestran los valores para  $M$ ,  $(M + SD)$ , y  $(M - SD)$ . Para todas, excepto tres columnas,  $(V_{prueba}/\phi V_n) = 0.98$ . Para columnas circulares, se considera que la simplificación de  $d=0.80D$  permitida desde hace mucho tiempo, es apropiada. Las desviaciones media y estándar para  $V_{prueba}/V_n$  (que se muestran en la Tabla 1) indican que al utilizar  $d = 0.80D$ , se obtiene una mejor estimación de la resistencia y menos dispersión que al utilizar  $d=d_T$ , que requiere cálculo.

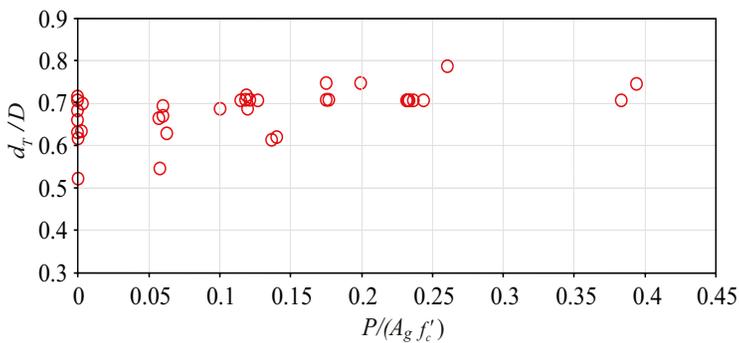


Fig. 3: Columna circular  $d_r/D$  versus  $P/(A_g f'_c)$

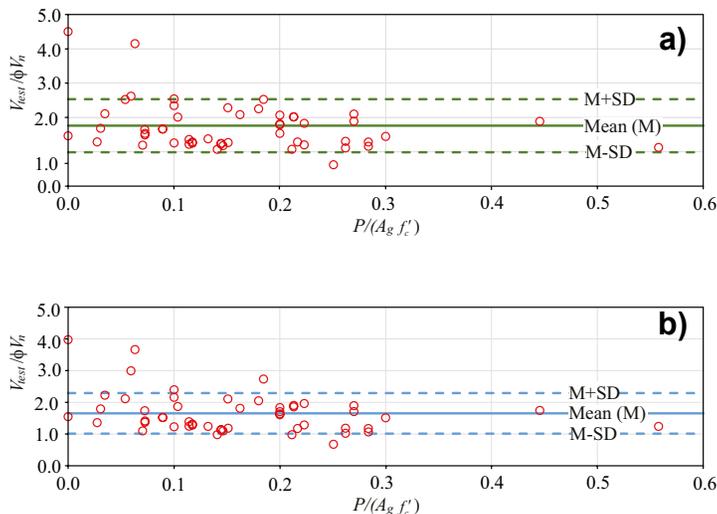


Fig. 4:  $V_{prueba}/\phi V_n$  versus  $P/(A_g f'_c)$  para columnas rectangulares: (a)  $V_n$  se calculó utilizando  $d = d_r$  para  $V_c$  y  $V_s$ ; y (b)  $V_n$  se calculó utilizando  $d = 0.80h$  para  $V_c$  y  $V_s$

la ubicación del eje neutro y del centroide para refuerzo longitudinal en tracción.

Basándonos en estos análisis, recomendamos la inclusión del siguiente requerimiento en disposiciones para calcular la resistencia a la cortante de columnas. Para calcular  $V_c$  y  $V_s$  de columnas, deberá permitirse asumir:

- (a)  $d = 0.8h$  para columnas rectangulares; y
- (b)  $d = 0.8D$  para secciones circulares.

## Resumen

Se propone un procedimiento simplificado para determinar la profundidad efectiva  $d$  para cálculos de resistencia a cortante de las columnas rectangulares. En lugar de calcular  $d$  como una función de la geometría de sección de columna, pueden permitirse disposición de refuerzo, momento aplicado y carga axial,  $d = 0.80h$ . La definición propuesta de  $d$  conduce a mejores cálculos de las resistencias a la cortante para columnas rectangulares, con menos dispersión que cuando se utilizaba la definición de  $d$  de acuerdo con ACI 318-19.

Para columnas circulares, los análisis de bases de datos experimentales indican que el uso actualmente permitido de  $d = 0.80D$  es apropiado y da por resultado buena exactitud para el diseño.

## Reconocimientos

El trabajo presentado en este artículo fue inspirado por un comentario durante el período de discusiones públicas para ACI 318-19, en el que Allan Bommer y Bentley Systems observaron que la profundidad efectiva  $d$  para cálculo de resistencia a la cortante podría variar con la carga axial y estado de deformación, conduciendo a complejidad innecesaria en el diseño de la construcción.

## 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. Kuchma, D.A.; Wei, S.; Sanders, D.H.; Belarbi, A.; and Novak, L.C., "Development of the One-Way Shear Design Provisions of ACI 318-19 for Reinforced Concrete," ACI Structural Journal, V. 116, No. 4, July 2019, pp. 285-295.
3. ACI, "Standard Building Regulations for the Use of Reinforced Concrete (ACI Standard Specifications No. 23)," ACI Journal Proceedings, V. 16, No. 2, Feb. 1920, pp. 283-302.
4. ACI Committee E-1, "Tentative Building Regulations for the Use of Reinforced Concrete (E-1A-27T)," ACI Journal Proceedings, V. 23, No. 2, Feb. 1927, pp. 644-677.
5. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99) and Commentary (ACI 318R-99)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1999, 391 pp.
6. Joint ACI-ASCE Committee 426, "Shear Strength of Reinforced Concrete Members (ACI 426R-74)," Journal of the Structural Division, ASCE, V. 99, No. 6, June 1973, pp. 1148-1157.

7. Faradji, M.J., and Diaz de Cossio, R., "Diagonal Tension in Concrete Members of Circular Section," Foreign Literature Study No. 466 (translated from Spanish), Portland Cement Association, Skokie, IL, 1966, 61 pp.

8. Khalifa, J.U., and Collins, M.P., "Circular Reinforced Concrete Members Subjected to Shear," Publication No. 81-08, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, ON, Canada, Dec. 1981, 117 pp.

9. Fenwick, R.C., and Paulay, T., "Mechanisms of Shear Resistance of Concrete Beams," Journal of the Structural Division, ASCE, V. 94, No. 10, Oct. 1968, pp. 2325-2350.

10. Ghannoum, W.; Sivaramakrishnan, B.; Pujol, S.; Catlin, A.C.; Fernando, S.; Yoosuf, N.; and Wang, Y., "NEES: ACI 369 Rectangular Column Database," 2015, [www.datacenterhub.org/resources/255](http://www.datacenterhub.org/resources/255).

11. Ghannoum, W.; Sivaramakrishnan, B.; Pujol, S.; Catlin, A.C.; Fernando, S.; Yoosuf, N.; and Wang, Y., "NEES: ACI 369 Circular Column Database," 2015, [www.datacenterhub.org/resources/254](http://www.datacenterhub.org/resources/254).

12. Kakavand, M.R.A.; Sezen, H.; and Tacioglu, E., "Data-Driven Models for Predicting the Shear Strength of Rectangular and Circular Reinforced Concrete Columns," Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 147, No. 1, Jan. 2021.

13. ASCE/SEI 41-13, "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings," American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2014, 554 pp.

14. ACI Committee 369, "Standard Requirements for Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Concrete Buildings (ACI 369.1-17) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 110 pp.



**Halil Sezen**, FACI, es Profesor del Departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Geodésica de la Universidad Estatal de Ohio, Columbus, OH, Estados Unidos de Norteamérica. Es miembro del Comité ACI 369, Reparación y Rehabilitación Sísmica y del Comité Conjunto ASÍ-ASCE 441, Columnas de Concreto Reforzado.



**Sergio M. Alcocer**, FACI, es Profesor del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México, México y Profesor de medio tiempo en la Universidad de Texas en San Antonio, San Antonio, Texas, Estados Unidos de Norteamérica. Es miembro del Comité ACI 318, Código de Construcción de Concreto Estructural y fue miembro del Consejo Directivo de ACI y del Comité de Actividades Técnicas.



**Jack P. Moehle**, FACI, es Profesor de la Escuela de Posgrado en la Universidad de California, Berkely, California, Estados Unidos de Norteamérica. Fue miembro del Consejo Directivo de ACI y del Comité de Actividades Técnicas y fue Presidente del Comité ACI 318, Código de Construcción de Concreto Estructural.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Centro y Sur

*Título: Profundidad Efectiva de Columnas Rectangulares y Circulares para Cálculos de Resistencia al Cortante*



Traductora: Ing. Ana Patricia García Medina



Revisor Técnico: Sergio Valdez Constantino

# 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.<sup>1</sup> 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?<sup>2</sup> ¿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  $\lambda$  es dado en la Tabla 25.4.2.5.

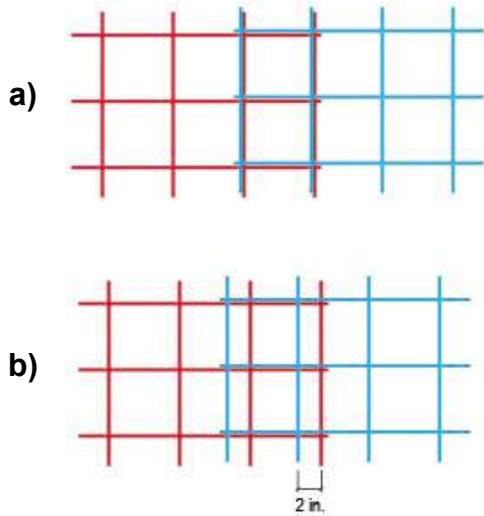


Fig. 1. Longitudes de traslape para refuerzo electrosoldado de alambre (WWR): (a) lo que proporcionarán; y (b) lo que el esperaba el inspector

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.

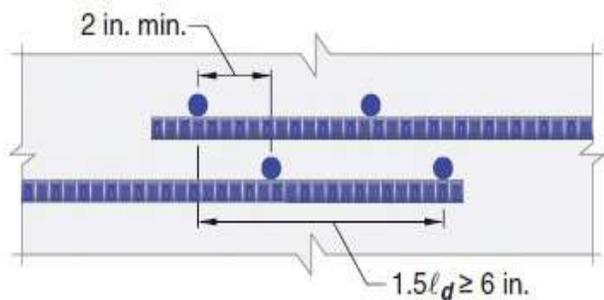


Fig. 2. Traslapes de WWR simples, donde  $A_{s,provisto} / A_{s,requerido} < 2.0$  (basado en la Fig. R25.5.4.1 en ACI 318-19)

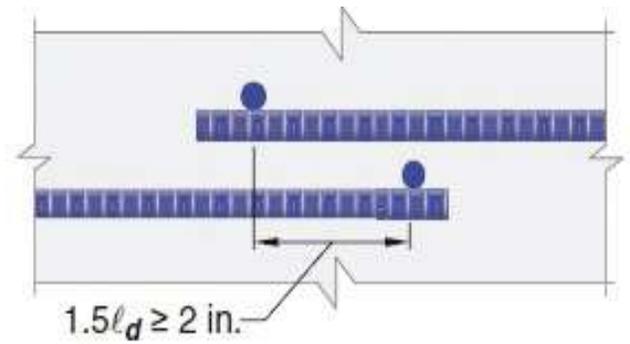


Fig. 3. Traslapes de WWR simples, donde  $A_{s,provisto} / A_{s,requerido} \geq 2.0$  (basado en la Fig. R25.5.4.2 en ACI 318-19)

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.<sup>3</sup>

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 Metálica<sup>4</sup> (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](http://www.wirereinforcementinstitute.org/resources/tools/lap-splice-calculator)).

## Control de grosor de fisuras

De acuerdo con la Sección 8.3 de la ACI 360R,<sup>5</sup> 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.<sup>6</sup> 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](http://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*



**CONCRETO**  
LATINOAMÉRICA