

# Establishing Thickness Tolerances for Parking Lot Slabs

Measured thickness variations are evaluated

by Eldon Tipping, Tim Manherz, Paul J. Beagley, Peter J. Ruttura, and Bruce A. Suprenant

**P**rior to the 2006 edition, ACI's construction tolerances standard, the ACI 117 specification, provided the same tolerances for the thickness of *any concrete member*—whether it was a column, beam, pier, wall, or slab. Until then, a concrete member was within tolerance if its thickness was no more than the specified thickness  $+3/8$  in. and no less than the specified thickness  $-1/4$  in.

In ACI 117-06, "Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials,"<sup>1</sup> however, thickness tolerances for slabs-on-ground were separated from tolerances for other concrete members. This constituted an acknowledgment that construction of a slab-on-ground—an element with its thickness defined by a granular base and an unformed exposed surface—is uniquely different than construction of an element with its thickness defined by formwork.

ACI 117-06 and the following editions of the ACI 117 specification provide thickness tolerances for level concrete slabs-on-ground (that is, horizontal top and bottom surfaces, typical of interior slabs). Recently, ACI Committee 330, Parking Lots and Site Paving, has collectively questioned the applicability of ACI 117-10(15)<sup>2</sup> tolerances to slabs-on-ground for exterior parking lots, which typically have top and bottom surface slopes designed to accommodate drainage. In cooperation with the American Society of Concrete Contractors (ASCC), ACI Committee 330 subsequently collected data from 32 distinct slab-on-ground placements.

This article reports the measured thickness variations for the evaluated slabs. Further, this article reports thickness tolerances for parking lot pavements that we, the authors, have proposed to Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances, and ACI Committee 330.

## Basics of Slabs-on-Ground

For the typical slab-on-ground, the subbase supports the slab as part of the load-carrying capacity for vehicular traffic loads. The subbase also serves as elevation control of the

bottom concrete surface, and it functions as the construction work platform for personnel and equipment. A stable, all-weather, working platform minimizes thickness variations caused by local changes in the subbase elevation created during construction.

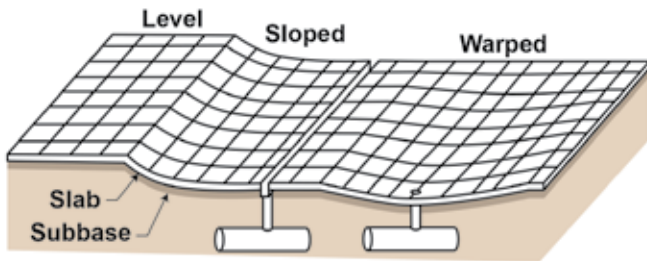
Proof rolling is an effective quality control procedure recommended by ACI 302.1R-15, "Guide to Concrete Floor and Slab Construction,"<sup>3</sup> and ACI PRC-330-21, "Commercial Concrete Parking Lots and Site Paving Design and Construction—Guide,"<sup>4</sup> to determine if the subbase provides stable, adequate support during and after construction. The procedure is generally conducted by driving a loaded tandem-axle dump truck or a loaded concrete truck over the subbase in a preestablished grid pattern. If the truck leaves no depressions or ruts greater than  $1/2$  in. deep, the test establishes that construction activities will not result in an unacceptable level of local variation in the subbase elevation.

Variations of the bottom and top surface elevations contribute to thickness variations of concrete slabs-on-ground. The placement of the subbase establishes the overall elevation control of this surface, and construction activities create local elevation differences of this surface. Note that ACI 117-10(15), Section 4.4.5, states the subbase elevation tolerance immediately below the concrete as  $\pm 3/4$  in.

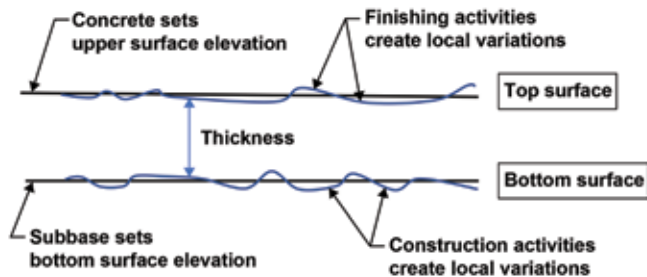
The unformed top concrete surface elevation is established during concrete strike-off, usually referenced to a horizontal plane determined using a rotary laser level. This sets the overall elevation control of the top surface, and tolerances for floor flatness and levelness establish a level of local variation for finishing activities. The local elevation variation for commonly specified flatness and levelness for hard-troweled surfaces is about  $1/8$  in. Note that ACI 117-10(15), Section 4.4.1, states the top surface elevation tolerance as  $\pm 3/4$  in. Figure 1 is a schematic of three different slabs-on-ground discussed in the following.

## Level slabs

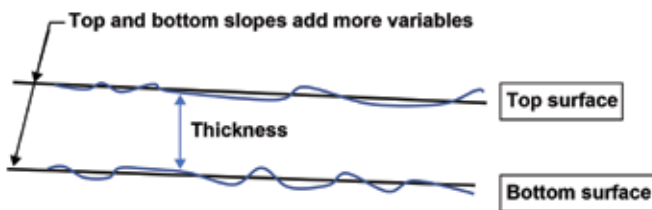
Level slabs are normally used as building floors. Figure 2 illustrates how the top and bottom overall elevations and local variations establish slab thickness for a level slab, which we identify as a “level hard-troweled slab-on-ground.”



**Fig. 1:** The top and bottom surfaces of slabs-on-ground can be level, sloped, or warped (based on an illustration published by Somero Enterprises Inc.)



**Fig. 2:** Schematic illustration of thickness for a level (zero-slope) interior concrete slab-on-ground



**Fig. 3:** Schematic illustration of thickness for a sloping exterior parking lot slab

## Sloped slabs

Exterior parking lots are sloped to allow drainage (Fig. 1). This slope adds an extra variable for top and bottom surface elevation control. Drainage slopes of 2 to 5% result in elevation changes ranging from about 1/4 to 3/4 in./ft. As shown in Fig. 3, this variable also factors into the thickness. In addition, local flatness variations in the broomed top surface are greater than flatness variations for a hard-troweled interior surface. The local elevation variation for a broomed surface, usually established by measuring the gap under a straightedge, can be as much as 1/2 in. We identify this slab as a “sloping broomed slab-on-ground.”

## Warped slabs

An even more complex twist to exterior sloped parking lots is the warped (contoured) concrete surface (Fig. 1). Construction of parking lots with warped surfaces typically requires a three-dimensional control system for both the subbase grading and concrete screeding equipment. The range of challenges and complexity for top and bottom surface control will likely lead to larger thickness variations than concrete slabs with either no slope or a one-directional slope. We identify this slab as a “warped broomed slab-on-ground.”

## History of Slab-on-Ground Thickness Tolerances

Table 1 provides the history of slab-on-ground thickness tolerances in the ACI 117 specification. Table 2 provides the history of parking lot thickness tolerances in the ACI 330.1 specification.

In 1989, when the slab-on-ground minus tolerance was 1/4 in. per the ACI 117 specification, Gustaferrero recommended that “revised and more realistic tolerances are needed.”<sup>10</sup> He concluded: “A realistic specification could read, ‘The average thickness of a floor slab shall be no less than the thickness shown on the drawings, and not more than 16% of the floor area shall be thinner than 3/8 inch less than that shown on the drawings.’”<sup>10</sup> In an interview published in *Concrete Construction* in 2000, Gustaferrero stated that this recommendation was based on the assumption of “an excellent standard deviation in thickness of 3/8 inch.”<sup>11</sup> The

**Table 1:**  
History of slab-on-ground thickness tolerances in the ACI 117 specification

ACI 117	Description	Tolerances
1981 <sup>5</sup>	Cross-sectional dimensions of columns, beams, walls, and <i>slab</i> thickness	Up to 12 in.: +3/8 in., -1/4 in. More than 12 in.: +1/2 in., -3/8 in.
1990 <sup>6</sup>	Members, such as columns, beams, piers, walls (thickness only), and <i>slabs</i> (thickness only)	12 in. dimension or less: +3/8 in., -1/4 in. More than 12 in. but not over 3 ft dimension: +1/2 in., -3/8 in. Over 3 ft dimension: +1 in., -3/4 in.
2006 <sup>1</sup>	Thickness of slabs-on-ground	Average of all samples: -3/8 in. below specified thickness Individual sample: -3/4 in. below specified thickness
2010 (2015) <sup>2</sup>	Same as 2006	Same as 2006

**Table 2:**  
**History of slab-on-ground thickness tolerance for concrete parking lots per the ACI 330.1 specification**

ACI 330.1	Description	Tolerances
1994 <sup>7</sup>	Thickness	+3/8 in., -1/4 in.
2003 <sup>8</sup>	Same as 1994	Same as 1994
2014 <sup>9</sup>	Same as ACI 117-10 for slabs-on-ground	Same as ACI 117-10 for slabs-on-ground

**Graphical Thickness Tolerances**

The history of slab-on-ground thickness tolerances required by the ACI 117 specification are graphically summarized in Fig. A and B. Prior to the 2006 edition, the thickness of any sample was required to be no more than the specified thickness +3/8 in. and no less than the specified thickness -1/4 in. From 2006 to the present, the specification includes two tolerances: one on the average of the sample thickness values and another on the thickness of an individual sample. The average thickness is to be no less than the specified thickness -3/8 in., and the thickness of an individual sample is to be no less than the specified thickness -3/4 in.

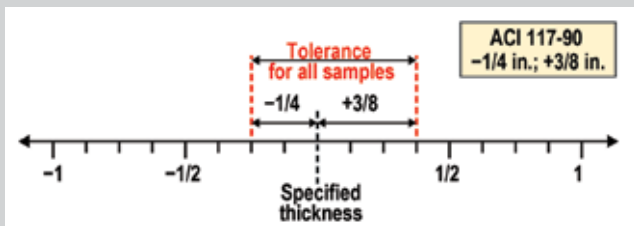
For the contractor, referencing the tolerance on individual sample thickness to the specified thickness is the more challenging criterion. For example, consider a

data from Gustafarro’s 1989 article, however, exhibited standard deviations ranging from 0.47 to 0.90 in. The data also showed that the average slab thickness was less than the specified nominal thickness in all cases.

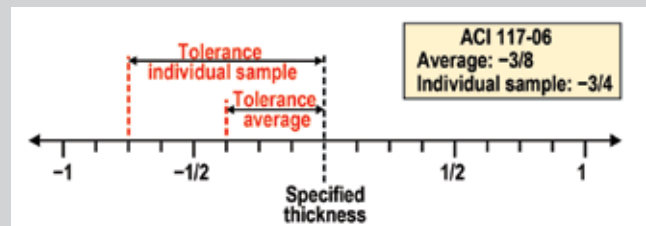
In that same interview, Tipping recommended a tolerance approach to “impose limitations on the average thickness of core samples taken and limit by which any individual sample falls short of the required thickness.”<sup>11</sup> In 2000, the Canadian Standards Association (CSA) adopted slab-on-ground tolerance provisions matching Tipping’s recommendation.<sup>12</sup> ACI Committee 117 subsequently adopted the CSA approach

placement that results in a standard deviation of 3/8 in. (as previously noted, Gustafarro<sup>10</sup> considered this to be a demonstration of excellent control of the thickness). Assuming a normal distribution of thickness values, the -3/4 in. individual sample criterion is about one standard deviation to the right of the minimum thickness of all samples and one standard deviation to the left of the central value of all samples (Fig. C). Thus, even when meeting the average thickness tolerance, about 15 to 20% of the pavement will have thickness values below the -3/4 in. tolerance.

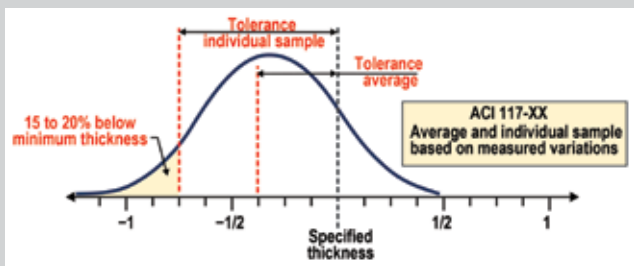
Alternatively, if the average thickness was required to be no less than the specified tolerance and the -3/4 in. individual tolerance was referenced to the center of the thickness distribution, only about 3% of the thickness values would fall below the -3/4 in. criterion (Fig. D).



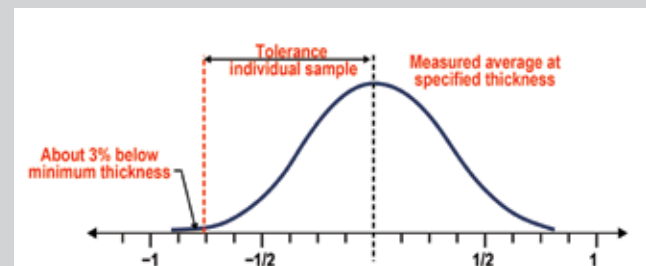
**Fig. A:** Graphical illustration of the asymmetrical tolerance limits for all concrete members, including slabs-on-ground for member sizes 12 in. or less, in ACI 117-90<sup>6</sup>



**Fig. B:** Graphical illustration of the two-tiered thickness tolerances for slabs-on-ground in ACI 117-06<sup>1</sup>



**Fig. C:** Schematic illustration of the percentage of pavement values below the individual tolerance value of -3/4 in. in a pavement with a standard deviation of 3/8 in. and meeting the average measured thickness limit of -3/8 in. below the specified thickness



**Fig. D:** Schematic illustration of the percentage of pavement values below the individual tolerance value of -3/4 in. in a pavement with a standard deviation of 3/8 in. and with the average measured thickness at the specified thickness

for the 2006 revision, and this remains in the ACI 117-10(15) specification.

While the ACI 330.1 specification tolerance provisions have followed those in the ACI 117 specification, ACI 330.2R-17, Section 4.8.3,<sup>13</sup> acknowledges that “warped pavement drainage...makes it more difficult to maintain thickness tolerances.”

While ACI Committees 117 and 330 have been working to develop realistic thickness tolerances, ACI 360R-10, “Guide to Design of Slabs-on-Ground,”<sup>14</sup> and ACI 302.1R-15, “Guide to Concrete Floor and Slab Construction,”<sup>15</sup> are both silent on this topic. In our opinion, both documents should make designers and contractors aware of these issues so they can be addressed prior to construction.

### ACI Sampling Provisions for Thickness

In addition to thickness tolerances, ACI 117-10(15) provides requirements for sampling as shown in Table 3. Currently, these tolerances also apply to parking lot slabs. The specification also provides instructions for computations and corrective action. Section 4.5.4.5 places an upper bound on the sample thickness used in calculations of the average thickness, and Section 4.5.4.6 calls for additional samples near locations with unacceptable results.

### ACI Committee 330 Data Collection

Eldon Tipping, past Chair of ACI Committee 330, developed a spreadsheet program for contractors to use in collecting thickness data for their slab-on-ground pavements. Based on the placement size, the spreadsheet randomly generated 30 survey points at which subbase and top surface elevation data were to be determined using a total station. After the data were entered into the spreadsheet, pavement thickness at each point was calculated as the difference between the surface elevation and the subbase elevation.

Three contractors working in the United States (Texas, New York, and Utah) collected thickness data for 32 different concrete slab-on-ground

placements. The contractors classified each placement as level hard-troweled, sloped broomed, or warped broomed. Table 4 provides a summary of the collected data. Tables 5, 6, and 7 provide detailed information for the level hard-troweled, sloped broomed, and warped broomed slabs-on-ground.

### Data Analyses Are slabs-on-ground different?

Table 8 provides a summary of the data analyses for the three types of slabs-on-ground. The weighted averages for the mean deviation from specified (*MD*) and the standard deviation (*SD*) are based on the number of samples for

**Table 3:**  
Sampling requirements for slabs-on-ground and parking lots in ACI 117-10(15)<sup>2</sup>

Section	Statement
4.5.4.1	Minimum number of slab thickness samples, when taken, shall be four (4) for each 5000 ft <sup>2</sup> or part thereof.
4.5.4.2	Samples shall be taken within seven (7) days of placement.
4.5.4.3	Samples shall be randomly located over the test area and shall be taken by coring of the slab or by using an impact-echo device.
4.5.4.3.1	Where concrete core samples are taken, the length of each core sample shall be determined using ASTM C174/C174M.
4.5.4.3.2	An impact-echo device, when used, shall be calibrated using a minimum of three random locations within the test area where the actual concrete thickness is known. The impact-echo test shall be conducted in accordance with ASTM C1383.
4.5.4.4	Test results shall be reported in a manner that will allow the data to be verified or the test to be replicated.
4.5.4.5	When computing the average of all samples, samples with a thickness of more than 3/4 in. above the specified thickness shall be assumed to have a thickness 3/4 in. more than the specified thickness.
4.5.4.6	When corrective action is required, additional samples shall be taken in the vicinity of unacceptable results to establish the extent of corrective action.

**Table 4:**  
Summary of slab-on-ground data collected by ACI Committee 330

Description	Level hard-troweled	Sloped broomed	Warped broomed
Total number of projects	12	15	5
Total area, ft <sup>2</sup>	210,110	178,960	98,100
Number of measurements	405	522	151
Specified thickness, in.	5, 6, 7, 8, 10	6, 7, 8, 12	6
Weighted average mean deviation from specified, in.	+0.11	+0.16	+0.09
Weighted average standard deviation, in.	0.34	0.52	0.75
Subbase elevation-control	Laser grader: 8 Box blade: 2 Dozer: 1	Motor grader: 9 Robotic grader: 1 Box blade: 3 Dozer: 2	Motor grader: 5
Top surface strike-off	Laser: 12	Manual: 13 Laser: 2	Laser: 5

each placement. The standard deviations are 0.35, 0.52, and 0.75 for level hard-troweled, sloped broomed, and warped broomed finishes, respectively. While the data are limited, an F-test indicates that the standard deviations for the three slab types are different at about the 0.10% level of significance. Based on this determination and the committee's experience, we treated the data as representing three unique types of slabs-on-ground.

### How does ACI Committee 330 data set compare to other data sets?

In 2009, Suprenant and Malisch<sup>16</sup> presented data (hereafter termed "ASCC data set") for flat hard-troweled slabs-on-ground (Table 9). The weighted average *SD* was about 5/8 in. and the weighted average *MD* was about -3/8 in. Data for seven of the eight projects in the ASCC data set were obtained from Gustaferrero's 1989 article.<sup>10</sup> The *SD* value was higher than the *SD* value obtained in the current ACI Committee 330 study, perhaps because slab-on-ground construction quality has improved since the 1980s and because the two studies used different selection criteria and methods.

There is also a significant difference in the *MD* values. For the eight projects reported in the ASCC data set, all had a negative deviation (average thickness was less than the specified thickness). For the 12 projects reported in Table 5, only four had negative deviations from the specified thickness. The same trend was found for sloped broomed and warped broomed slabs-on-ground (Table 10). Again, this

could be simply because construction quality has improved since the 1980s.

### Highway pavement thickness variations

The recommendations in this article only apply to interior hard-troweled slabs-on-ground and exterior parking lots and site paving. Data sets obtained by ACI Committee 330 were not collected on highway pavements. State transportation departments have their own thickness and penalty criteria. It can be useful, however, to compare the variation in thickness on highway pavements to the variation observed on parking lots. Kim and McCullough<sup>17</sup> reported measured thickness standard deviations of 0.44, 0.34, 0.44, 0.52, 0.47, and 0.63 in. on individual pavement projects in Texas. The weighted-average *SD* was 0.48 in., which matches well with the 0.52 in. average *SD* for sloped broomed parking lot slabs shown in this study.

### It's all about the subbase

Concrete contractors have long identified variations in subbase elevation as the main factor in pavement thickness variations. Table 11 shows *MD* and *SD* values for the bottom and top surface elevations. The *SD* values for the bottom surfaces are greater than the *SD* values for the top surfaces.

The last two placements listed in Table 6 were performed by the same contractor but with different grading equipment. The *SD* for the project with a subbase finished using a dozer (and stringline) was 0.87, while the

**Table 5:**  
Level hard-troweled slab-on-ground data collected by ACI Committee 330

Placement size, ft <sup>2</sup>	Number of samples	<i>t</i> , in.	Bottom surface (subbase), in.		Top surface (concrete), in.		Measured thickness, in.		Construction method	
			<i>MD</i>	<i>SD</i>	<i>MD</i>	<i>SD</i>	<i>MD</i>	<i>SD</i>	Subbase	Top surface
23,000	39	6	-0.56	0.41	+0.15	0.13	0.71	0.43	Laser grader	Laser strike-off
23,000	38	6	-0.60	0.39	-0.14	0.12	0.47	0.35	Laser grader	Laser strike-off
21,000	40	8	-0.54	0.30	-0.21	0.11	0.33	0.28	Laser grader	Laser strike-off
22,000	50	7	+0.13	0.26	+0.07	0.15	-0.06	0.28	Laser grader	Laser strike-off
41,000	39	8	0.31	0.28	-0.01	0.11	-0.32	0.32	Laser grader	Laser strike-off
1380	20	5	0.08	0.43	0.19	0.10	0.11	0.42	Box blade	Laser strike-off
3600	25	10	-0.17	0.38	-0.06	0.16	0.11	0.36	Laser grader	Laser strike-off
40,830	38	8	0.31	0.28	-0.01	0.11	-0.32	0.32	Laser grader	Laser strike-off
21,400	26	6	0.63	0.36	0.65	0.18	0.01	0.38	Laser grader	Laser strike-off
3000	30	7	0.18	0.40	-0.29	0.26	-0.47	0.32	Box blade	Laser strike-off
3500	30	6	0.04	0.33	+0.44	0.20	0.40	0.33	Box blade	Laser strike-off
6400	30	7	-0.39	0.36	-0.07	0.16	0.32	0.36	Dozer	Laser strike-off

Note: *t* = specified thickness; *MD* = mean deviation from specified; *SD* = standard deviation

**Table 6:**  
Sloped broomed slab-on-ground data collected by ACI Committee 330

Placement size, ft <sup>2</sup>	Number of samples	t, in.	Bottom surface (subbase), in.		Top surface (concrete), in.		Measured thickness, in.		Construction method	
			MD	SD	MD	SD	MD	SD	Bottom surface	Top surface
15,000	40	6	*	*	*	*	0.24	0.38	Box blade	Manual strike-off
21,000	40	7	*	*	*	*	0.52	0.46	Motor grader	Manual strike-off
15,500	40	12	*	*	*	*	0.05	0.56	Motor grader	Manual strike-off
11,000	44	12	*	*	*	*	0.33	0.41	Motor grader	Manual strike-off
7200	36	12	*	*	*	*	0.03	0.46	Motor grader	Manual strike-off
4000	31	12	*	*	*	*	0.17	0.45	Motorgrader	Manual strike-off
11,000	44	12	*	*	*	*	0.37	0.54	Motor grader	Manual strike-off
9500	33	12	*	*	*	*	0.15	0.43	Motor grader	Manual strike-off
5500	32	12	*	*	*	*	-0.31	0.41	Motor grader	Manual strike-off
5500	37	12	*	*	*	*	0.01	0.53	Motor grader	Manual strike-off
1760	25	6	*	*	*	*	0.49	0.54	Dozer	Manual strike-off
2700	20	7	*	*	*	*	0.19	0.62	Box blade	Manual strike-off
27,200	40	7	*	*	*	*	0.30	0.60	Box blade	Manual strike-off
25,800	30	8	0.19	0.87	-0.22	0.29	-0.42	0.94	Dozer	Laser strike-off
25,800	30	8	-0.19	0.20	0.34	0.45	0.52	0.52	Robotic grader	Laser strike-off

Note: t = specified thickness; MD = mean deviation from specified; SD = standard deviation

\*Contractor did not provide data from survey points

**Table 7:**  
Warped broomed slab-on-ground data\* collected by ACI Committee 330

Placement size, ft <sup>2</sup>	Number of samples	t, in.	Bottom surface (subbase), in.		Top surface (concrete), in.		Measured thickness, in.		Construction method	
			MD	SD	MD	SD	MD	SD	Bottom surface	Top surface
21,000	30	6	0.77	0.86	1.13	0.36	0.36	0.59	Motor grader	Laser strike-off
17,600	30	6	0.07	1.10	0.75	0.59	0.68	0.70	Motor grader	Laser strike-off
26,500	30	7	-2.22	1.36	-2.58	0.91	-0.36	0.88	Motor grader	Laser strike-off
16,500	30	7	-1.31	0.67	-1.62	1.11	-0.31	0.95	Motor grader	Laser strike-off
16,500	31	7	2.35	0.67	2.39	0.44	0.03	0.63	Motor grader	Laser strike-off

Note: t = specified thickness; MD = mean deviation from specified; SD = standard deviation

\*Contractor described project as “gnarly, multi-level, multi-sloping parking lot with connecting roads”

*SD* for the project with a subbase finished using a robotic grader was 0.20—a significant improvement. The thickness *SD* also showed significant improvement, from 0.94 to 0.52.

While the data are limited, they do provide a strong indication that better control of the subbase elevation results in reduced pavement thickness *SD*. The data also show that

the ACI 117-10(15) subbase elevation tolerance of  $\pm 3/4$  in. might be difficult to achieve.

### Limiting thickness samples to 3/4 in. of specified thickness

For computation of the average thickness, ACI 117-10(15), Section 4.5.4.5, requires that “samples with a thickness more

**Table 8:**  
Weighted average measured thickness values

Slab type and surface finish	Number of placements	Number of samples	<i>MD</i> , in.	<i>SD</i> , in.
Level hard-troweled	12	405	0.11	0.35
Sloped broomed	15	522	0.18	0.52
Warped broomed	5	151	0.09	0.75

Note: *MD* = mean deviation from specified; *SD* = standard deviation

**Table 9:**  
Level hard-troweled slab-on-ground data summarized by Suprenant and Malisch (ASCC data set)<sup>16</sup>

Project	Slab area, ft <sup>2</sup>	Number of measurements	<i>t</i> , in.	<i>MD</i> , in.	<i>SD</i> , in.
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	90,000	79	4	-0.36	0.90
7	100,000	111	4	-0.32	0.77
8	Unknown	60	5	-0.34	0.73

Note: *t* = specified thickness; *MD* = mean deviation from specified; *SD* = standard deviation

**Table 10:**  
Average above or below specified thickness

Slab type and surface finish	Data source	Number of placements or projects	Mean deviation from specified thickness	
			Above specified	Below specified
Level hard-troweled	Suprenant and Malisch <sup>16</sup>	8	0	8
	ACI Committee 330	12	8	4
Sloped broomed	ACI Committee 330	15	13	2
Warped broomed	ACI Committee 330	5	3	2

**Table 11:**  
Weighted average measured bottom surface (subbase) and top surface (concrete) elevation values

Slab type and surface finish	Number of placements	Number of samples	Bottom surface (subbase), in.		Top surface (concrete), in.	
			<i>MD</i>	<i>SD</i>	<i>MD</i>	<i>SD</i>
Level hard-troweled	12	405	-0.07	0.34	0.04	0.15
Sloped broomed	2	60	NA	NA	NA	NA
Warped broomed	5	151	-0.07	0.93	0.14	0.68

Note: *MD* = mean deviation from specified; *SD* = standard deviation

than 3/4 in. above the specified thickness shall be assumed to have a thickness 3/4 in. more than the specified thickness.” The rationale for this limitation is to discourage using thick concrete at one location to make up for very thin concrete at another location. In other words, this item emphasizes the importance of minimizing large variations in concrete thickness.

Tables 12, 13, and 14 provide the average thickness calculated from all samples and then calculated from all samples with a limit on thickness to no more than 3/4 in. above the specified thickness. Limiting thickness to specified plus 3/4 in. dropped the average thickness in some cases by about 1/8 in. In these cases, the average thickness was already greater than specified so that adjusting the average

**Table 12:**  
Calculated thickness values for level hard-troweled slabs-on-ground

Specified thickness, in.	Average thickness, in.	Number of samples with thickness > 3/4 in. above specified thickness	Average thickness, in.*	Average thickness minus bounded average thickness, in.
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

\*Calculated using bounded sample thickness per ACI 117-10(15), Section 4.5.4.5

**Table 13:**  
Calculated thickness values for sloped broomed slabs-on-ground

Specified thickness, in.	Average thickness, in.	Number of samples with thickness > 3/4 in. above specified thickness	Average thickness, in.*	Average thickness minus bounded average thickness, in.
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

\*Calculated using bounded sample thickness per ACI 117-10(15), Section 4.5.4.5



**Table 14:**  
**Calculated thickness values for warped broomed slabs-on-ground**

Placement	Specified thickness, in.	Average thickness, in.	Number of samples with thickness > 3/4 in. above specified thickness	Average thickness, in.*	Average thickness minus bounded average thickness, in.
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

\*Calculated using bounded sample thickness per ACI 117-10(15), Section 4.5.4.5

thickness in accordance with Section 4.5.4.5 did not affect specification compliance. For cases where the average thickness was less than specified, SDs were sufficiently low such that there were no “thick” samples to exclude. These trends are expected with the good quality control as shown by the standard deviations exhibited by the contractors that participated in the study, but it is unclear how this would apply to the target population.

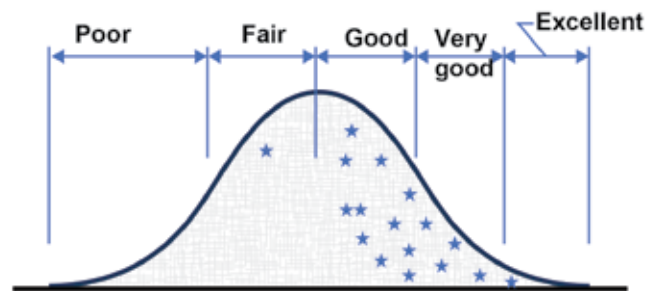
**Sample Bias**

The data set collected by ACI Committee 330 represents slab-on-ground concrete construction by contractors on ACI Committee 330 who volunteered to collect data. It was obtained by convenience and therefore is not a random sample. Through their participation in ACI and ASCC activities, these contractors exhibit a high level of interest in quality construction and may not be representative of the total population. Thus, statistical analysis by itself, with this data set, cannot be used to extrapolate to the target population. Judgment is needed to estimate how this convenience sample represents the target population. Figure 4 illustrates that the convenience sample can be expected to represent the “better” half of the target population.

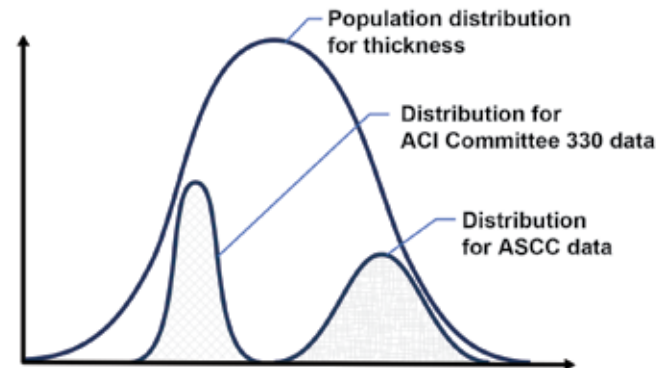
**From ACI Convenience Sample to Target Population**

The main question is how to address the ACI Committee 330 data, and even the ASCC data, within the target population distribution. The ACI Committee 330 volunteer data are believed to be representative of good to excellent work. The ASCC data, collected from slabs with thickness issues, are believed to be representative of fair to poor work. Figure 5 illustrates the two data sets within a hypothetical thickness population distribution.

We suggest that the levels of thickness control for slabs-on-ground could be expressed similarly to ACI 214R-11, “Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete,”<sup>18</sup> Tables 4.3 and 4.4, standards of concrete control. That is, the levels of control of thickness—excellent, very good, good, fair, and poor—could be assessed by the standard deviation. Table 15 provides standard deviation values we associate with



**Fig. 4:** Expectation of where the ACI Committee 330 data set falls within the target population



**Fig. 5:** Schematic illustration of the expected approximate locations of the ACI Committee 330 and ASCC data sets within the population distribution

different levels of thickness control. The main basis for estimating the standard deviation at each level is based on:

- The average standard deviation from the biased convenience sample should be at the “very good” level; and
- The lowest standard deviation from the biased convenience sample should be at the “good” level.

**Tolerance Recommendations for Slabs-on-Ground**

While some tolerance standards provide different tolerances for different quality levels, the current ACI 117 specification does not. Rather, ACI Committee 117 selected a

**Table 15:**  
Levels of thickness control for slabs-on-ground

Slab type and surface finish	SD for different levels of thickness control, in.				
	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor
Level hard-troweled	Below 0.30	0.30 to 0.37	0.38 to 0.45	0.46 to 0.53	Above 0.53
Sloped broomed	Below 0.45	0.45 to 0.52	0.53 to 0.60	0.61 to 0.68	Above 0.68
Warped broomed	Below 0.70	0.70 to 0.80	0.81 to 0.90	0.91 to 1.00	Above 1.00

Note: SD = standard deviation

**Table 16:**  
Tolerance recommendations for slabs-on ground

Slab type and surface finish	Elevation tolerance, in.	X value to be used in computing average thickness, in.	Thickness tolerances below specified thickness, in.	
	Fine grade of soil immediately below	Individual sample thickness = minimum of sample thickness or (X + the specified thickness)	Average of all samples	Individual sample
Level hard-troweled	±1	1	-3/8	-1
Sloped broomed	±1-1/4	1-1/4	-3/8	-1-1/4
Warped broomed	±1-1/2	1-1/2	-3/8	-1-1/2

single tolerance for what it considered to be a reasonable quality level for the variety of concrete slabs-on-ground constructed across the United States. However, the ACI 117 specification does allow the specifier to define an alternative tolerance within the project specifications to provide the necessary project quality level. Thus, we recommend that the initial starting point for selecting a thickness tolerance will be to allow two standard deviations below the specified thickness, based on “fair” level of thickness control (Table 15). This is equivalent to having less than about 3% of the thickness values below the specified thickness minus the tolerance. The tolerance, however, can also be modified based

on experience and judgment. ACI Committee 117 has typically been conservative when developing new tolerances based on limited data, and Joint ACI-ASCC Committee 117 can be expected to err on the low side rather than to aggressively change a tolerance.

Therefore, our recommendations for tolerances on individual samples for slab-on-ground construction are:

- Level hard-troweled:  $0.53 \times 2 = 1.06$  (based on our judgment, use 1 in.);
- Sloped broomed:  $0.68 \times 2 = 1.36$  (based on our judgment, use 1-1/4 in.); and
- Warped broomed:  $1.00 \times 2 = 2.00$  (based on our judgment, use 1-1/2 in.).

These tolerances are summarized in Table 16, along with our recommendations for the tolerance on the fine grade elevation of the slab-on-ground subbase and the tolerance on the average thickness. As is currently required in ACI 117, Section 4.5.4, the average thickness is to be calculated using sample values bounded by the specified thickness plus the tolerance on individual samples.


Our recommendations for slab-on-ground tolerances are based on the cited data and our experiences with slab construction and inspection. Recognizing that many of the data were obtained by convenience, we would ask that others share their data and experiences so that these recommendations can be fine-tuned for the industry.

## References

1. ACI Committee 117, “Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary (ACI 117-06),” American


**Errata for  
ACI Publications**

**Available Online**



Under the menu for “Publications” at [www.concrete.org](http://www.concrete.org), document errata can be searched by document number or keywords.

Call ACI Customer Service at +1.248.848.3700 for more information.



American Concrete Institute  
*Always advancing*

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

11. Gustafarro, 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 Test 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 Test Results of Concrete (ACI 214R-11)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2011, 16 pp.

Received and reviewed under Institute publication policies.



ACI Honorary Member **Eldon Tipping** is a Principal with and Vice Chairman of Structural Services, Inc., Waxahachie, TX, USA. He is a member of Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances, and ACI Committees 132, Responsibility in Concrete Construction; 302, Construction of Concrete Floors; 330, Concrete Parking Lots and Site Paving; and 360, Design of Slabs on Ground.



**Tim Manherz** is Operations Specialist at Encore Concrete Construction, Houston, TX, USA. He is a Fellow of the Tilt-Up Concrete Association (TCA) and a member of the Board of Directors of the American Society of Concrete Contractors (ASCC). He is a member of Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances, and ACI Committees 302, Construction of Concrete Floors; 330, Concrete Parking Lots and Site Paving; and 360, Design of Slabs on Ground.



ACI member **Paul J. Beagley** is President, Phaze Concrete, Inc., Cedar City, UT, USA. He is a member of Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances, and ACI Committees 302, Construction of Concrete Floors, and E703, Concrete Construction Practices.



ACI member **Peter J. Ruttura** is Vice President of Ruttura & Sons Construction, West Babylon, NY, USA. He is a member of Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances, and ACI Committees 302, Construction of Concrete Floors, and 330, Concrete Parking Lots and Site Paving.



**Bruce A. Suprenant**, FACI, is the ASCC Technical Director, St. Louis, MO, USA. He is a member of ACI Committees 134, Concrete Constructability, and 302, Construction of Concrete Floors; and Joint ACI-ASCC Committees 117, Tolerances, and 310, Decorative Concrete. His honors include the 2021 ACI Arthur R. Anderson Medal, the 2020 ACI Construction Award, the 2013 ACI Certification Award, the 2010 ACI Roger H. Corbetta Concrete Constructor Award, and the 2010 ACI Construction Award.

# 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”.

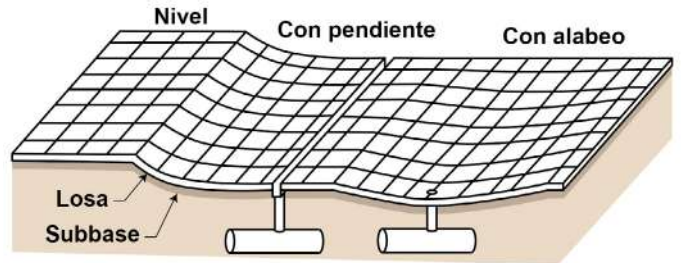


Figura 1: Las superficies superior e inferior de las losas sobre suelo pueden estar niveladas, con pendiente o con alabeo (según una ilustración publicada por Somero Enterprises Inc.)

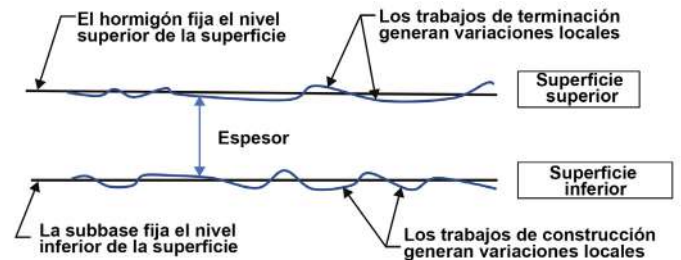


Figura 2: Ilustración esquemática del espesor de una losa de hormigón sobre suelo interior nivelada (pendiente cero)

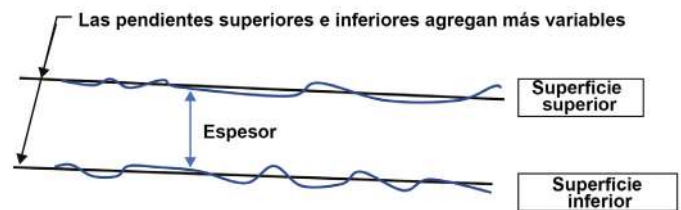


Figura 3: Ilustración esquemática del espesor de una losa con pendiente de una playa de estacionamiento exterior

## 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, Gustaferro 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, Gustaferro 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 losas

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.

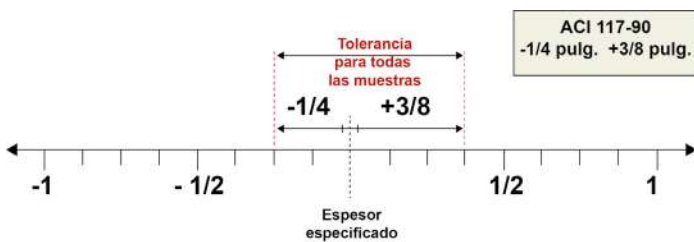


Figura A: Ilustración gráfica de los límites de tolerancia asimétricos para todos los elementos de hormigón, incluyendo las losas sobre suelo para elementos de tamaños de 12 pulg. o menos, en ACI 117-90<sup>6</sup>

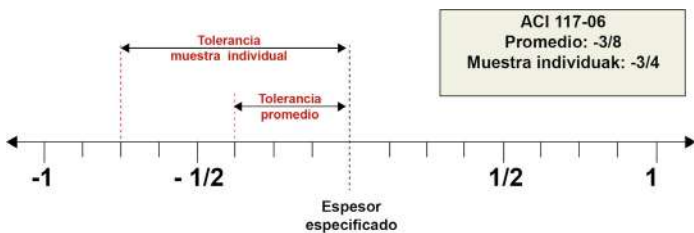


Figura B: Ilustración gráfica de dos niveles de tolerancias del espesor para losas sobre suelo en ACI 117-06<sup>1</sup>

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.

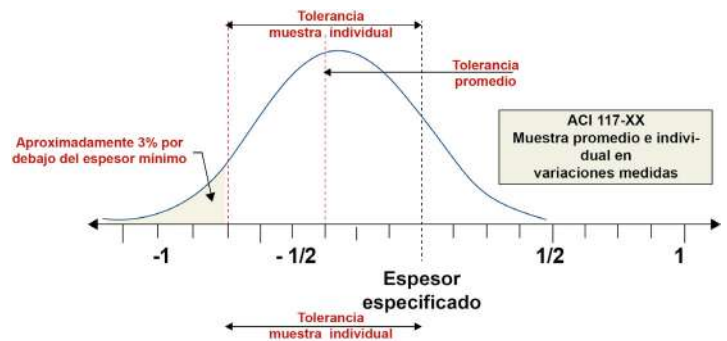


Figura C: Ilustración esquemática del porcentaje de valores de pavimento por debajo del valor de la tolerancia individual de  $-3/4$  pulg. en un pavimento con una desviación estándar de  $3/8$  pulg. y cumpliendo con el límite de espesor promedio medido de  $-3/8$  pulg. por debajo del espesor

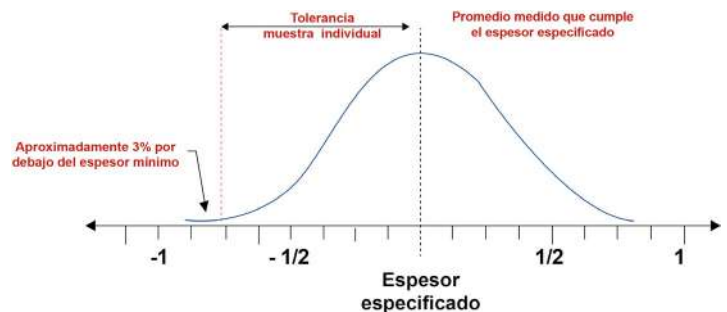


Figura D: Ilustración esquemática del porcentaje de valores de pavimento por debajo del valor de tolerancia individual de  $-3/4$  pulg. en un pavimento con una desviación estándar de  $3/8$  pulg. y con el espesor promedio medido cumpliendo con el espesor especificado



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	Emrasadora 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	Emrasadora 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.

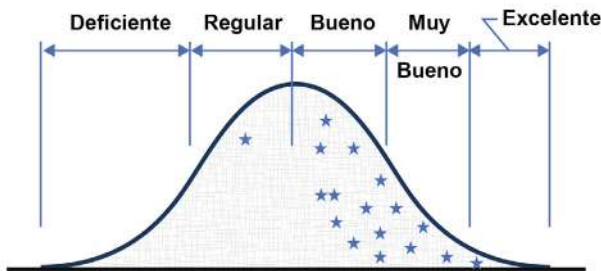


Fig. 4: Expectativa de donde cae el conjunto de datos del Comité ACI 330 dentro de la población objetivo

### 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.

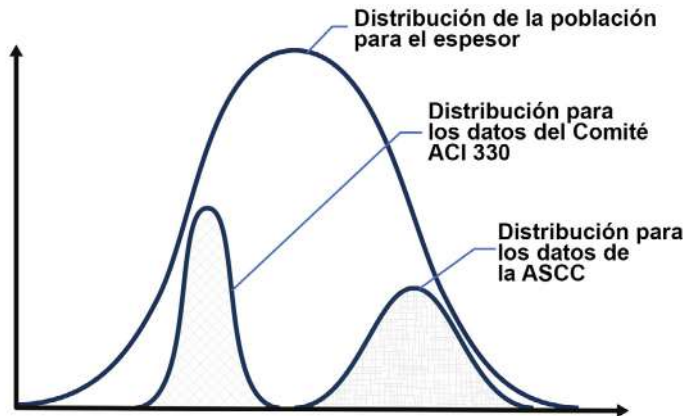


Fig. 5: Ilustración esquemática de las ubicaciones esperadas del conjunto de datos del Comité ACI 330 y de la ASCC dentro de la distribución de población

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