

F-numbers and Textured Concrete Surface Finishes

Parking structures and parking lots with swirl and broom finishes

by Lingfeng (Leo) Zhang, James Klinger, and Bruce A. Suprenant

Textured finishes are typically specified for working surfaces of parking structures, parking lots, commercial pavements, and walkways. A swirl finish (Fig. 1(a)) is sometimes specified for parking structures and is recommended for that use by ACI Committee 362, Parking Structures (ACI 362.1R¹), and others (Chrest et al.²). A broom finish (Fig. 1(b)) is commonly specified for parking lots and other exterior concrete and is recommended for that use by ACI Committees 330, Concrete Parking Lots and Site Paving, and 302, Construction of Concrete Floors (ACI 330.1³ and ACI 302.1R⁴), and others (Collins et al.⁵). Unfortunately, contractors are encountering construction documents that specify unachievable F-numbers for slabs also specified to have swirl and broom finishes. Adding to the confusion, various finishing techniques are required or recommended for these finishes. Therefore, we see a need to discuss the industry's confusion regarding F-numbers and achieving textured swirl and broom finishes.

Project Specifications

F-numbers

Some concrete contractors are encountering project specifications requiring floor flatness specified overall values (SOVs) as high as 50, with minimum local values (MLVs) of 35, for surfaces also specified to have a broom finish. One project specification required an MLV of 25 for a surface specified to have a swirl finish. The basis for these specified values is not clear.

Finishing

Required or recommended finishing techniques for textured finishes vary from project to project. The main issue is whether to machine float prior to applying a textured finish. This issue should be addressed separately for air-entrained and non-air-entrained concrete.



Fig. 1: Applying finishes to a test panel: (a) brush swirl finish; and (b) broom finish

ACI Specifications and Recommendations

Several ACI documents include F-numbers and finishing methods for floor slabs. A summary of those documents is provided below.

ACI 117 specification

ACI 117-10(15)⁶ provides requirements for the F-number system (Table 1 based on Table 4.8.5.1) and the manual straightedge method (Table 2 based on Table 4.8.6.1) based on the floor surface application. Commentary Section R4.8.4 provides guidance for defining the surface application:

- Conventional—Appropriate for mechanical rooms, nonpublic areas, surfaces under raised computer flooring or thick-set tile;
- Moderately flat—Appropriate for the carpeted area of commercial office buildings or industrial buildings with low-speed vehicular traffic;
- Flat—Appropriate for thin-set ceramic, vinyl tile, or similar coverings and warehouse employing conventional lift trucks and racks;
- Very flat—Restricted to high-end industrial applications such as high-speed lift trucks, air pallets, or similar equipment; and
- Super flat—Appropriate for limited applications such as TV production studios.

Unfortunately, the document offers no guidance for achieving textured surfaces.

ACI 302.1R guide

Section 10.15.1.1 of ACI 302.1R-15⁴ recommends that: “The selection of proper F_F/F_L tolerances for a project is best made by measurement of a similar satisfactory floor. This measurement is then used as the basis for the F_F/F_L tolerance specification for the new project.” When measurement of a similar floor is not practical or possible, ACI 302.1R, Section 10.15.1.1, indicates that the flatness/levelness quality levels provided in Fig. 2 (Fig. 10.9 in the document) are reasonable for the stated applications.

ACI 302.1R does not provide flatness/levelness recommendations for textured finishes. However, Tables 10.15.3a and 10.15.3b indicate that typical specification requirements for specified overall flatness (SOF_F) and specified overall levelness (SOF_L) are at least 20 and 15, respectively. Section 10.15.1.1 also recommends MLVs of 67% of SOVs, resulting in flatness and levelness MLVs of 13 and 10, respectively. The section further states that: “Minimum local values should never be less than $F_F/13/F_L/10$ because these values represent the minimum local results achievable by any concrete floor construction method.”

ACI 310R guide

ACI 310R-19, Section 3.6.1,⁸ provides information on the F-number system, indicating it is the preferred standard specification for measuring flatness and levelness of a concrete floor. However, the document provides conflicting

Table 1:
F-number system (ASTM E1155⁷ method)

Floor surface classification	Specified overall flatness (SOF_F)	Specified overall levelness (SOF_L)
Conventional	20	15
Moderately flat	25	20
Flat	35	25
Very flat	45	35
Super flat	60	40

Table 2:
Manual straightedge method

Floor surface classification	Maximum gap 90% compliance Samples not to exceed	Maximum gap 100% compliance Samples not to exceed
Conventional	1/2 in.	3/4 in.
Moderately flat	3/8 in.	5/8 in.
Flat	1/4 in.	3/8 in.
Very flat	N/A	N/A
Super flat	N/A	N/A

Note: 1 in. = 25 mm; N/A is not applicable

information regarding the application of that system for evaluations of textured surfaces, stating: “It is difficult to evaluate the flatness and levelness of textured surfaces using traditional F-number testing techniques. Profiles measured using this testing will confirm surface characteristics meet the project requirements.”

ACI 362.1R guide

ACI 362.1R-12, Section 7.2.2, recommends: “A light to medium broomed or float swirl finish be applied to driving and parking surfaces except where an alternate finish is required to install joint materials.” The document refers to ACI 302.1R-04⁹ for detailed information on finishing and provides no recommendations on surface flatness measurement.

ACI 330.1-14 specification

ACI 330.1-14, Sections 3.9.1 and 3.9.2, instruct: “Broom concrete surface with a steel or fiber broom to produce corrugations between 1/16 and 1/8 in. deep,” and “Broom perpendicular to the nearest edge of the pavement. Broom all areas of a panel in the same direction.” While ACI 330.1-14 does not provide a surface flatness requirement, ACI 330.1-03¹⁰ and ACI 330.1-94¹¹ provided surface flatness tolerances based on the gap below a 10 ft (3 m) straightedge. The maximum gap was specified as 1/2 in. (13 mm) and 1/4 in. (6 mm) in the 2003 and 1994 editions, respectively.

ACI 330.2R and PRC-330 guides

ACI 330.2R-17¹² and PRC-330-21¹³ recommend that the acceptability of the texturing technique and finish should be agreed upon by all parties, either through a mockup at a preconstruction conference or during the initial placement on the project. ACI PRC-330-21, Section 5.5.4.3, indicates that power floating “may help to produce a more consistent final finish.” Neither document provides recommendations for measuring surface flatness.

ACI CCS-1(10) document

ACI CCS-1(10)¹⁴ is used for training concrete finishers, and it provides the most detailed information on expected F-numbers for various finishing procedures for parking garages, parking lots, exterior concrete flatwork, floors, and industrial slabs (Table 3).

Industry Specifications and Recommendations

In this section, we discuss the contents of the AIA MasterSpec,¹⁵ example specifications for projects constructed in Colorado and California, recommendations for parking structures made by Walker Consultants,² measured F-numbers on broomed surfaces (Malisch et al.¹⁶), and recommendations from the American Society of Concrete Contractors (ASCC) Finishing Committee.

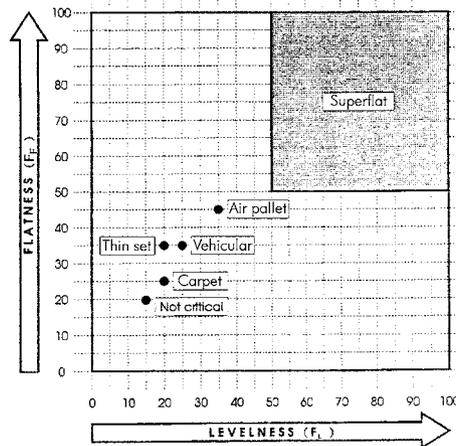
AIA MasterSpec

AIA MasterSpec[®] is the most used project specification in the United States. Its Section 033000-Cast-in-Place Concrete requires F-numbers or gap-under-a-straightedge measurements only for a trowel finish or a trowel and fine-broom finish. It does not provide a flatness tolerance for a broom finish. Like ACI 301-20¹⁷, MasterSpec requires a float finish prior to brooming. Unlike ACI 301, however, MasterSpec does not have a flatness tolerance for a float finish.

Parking structure, Colorado, USA, 2015

The specification for this project called for a maximum 1/2 in. gap under a 10 ft straightedge and stated that no

FLATNESS/LEVELNESS TYPICAL USE GUIDE



SLABS ON GROUND		Typical Use	Typical Class
Composite Overall Flatness (F _F)	Composite Overall Levelness (F _L)		
20	15	Noncritical: mechanical rooms, non-public areas, surfaces to have raised computer flooring, surfaces to have thick-set tile, and parking structure slabs	1 or 2
25	20	Carpeted areas of commercial office buildings or lightly-trafficked office/industrial buildings	2
35	25	Thin-set flooring or warehouse floor with moderate or heavy traffic	2, 3, 4, 5, 6, 7, or 8
45	35	Warehouse with air-pallet use, ice or roller rinks, gymnasium floors ⁴	9
>50	>50	Movie or television studios	3 or 9
SUSPENDED SLABS		Typical Use	Typical Class
Composite Overall Flatness (F _F)	Composite Overall Levelness (F _L)		
20	15 ¹ or N/A	Noncritical: mechanical rooms, non-public areas, surfaces to have raised computer flooring, surfaces to have thick-set tile, and parking structure slabs	1 or 2
25	20 ¹ or N/A	Carpeted areas of commercial office buildings or lightly-trafficked office/industrial buildings	2
35	20 ² or N/A	Surfaces to receive thin-set floorings	2, 3, or 4
45	35 ³	Ice or roller rinks, gymnasium floors ⁴	3
>50	>50 ^{1,3}	Movie or television studios	3 or 9

NOTES

1. Multi-directional quality of this level requires grinding of joints.
2. Levelness F-number only applies to level slabs shored at time of testing.
3. This levelness quality on a suspended slab requires a two-course placement.
4. All elevation samples should fall inside a 1/2 in. deep envelope.

Fig. 2: Typical use guide for flatness and levelness (Fig. 10.9 in ACI 302.1R-15⁴)

Table 3:
Finishing procedures, uses, and F-number expectation

Procedures	Use	F-number expectation*
Screed, bull float, broom	Parking garages, parking lots (concrete is air-entrained)	SOV $F_F = 20$ SOV $F_L = 15$
Screed, bull float, edge/joint, broom	Exterior concrete flatwork (concrete is air-entrained)	SOV $F_F = 20$ SOV $F_L = 15$
Screed, bull float/straightedge, waiting period, power float, power trowel	Retail, commercial, school floors (concrete is non-air-entrained)	SOV $F_F = 35$ SOV $F_L = 25$
Screed, bull float/straightedge, waiting period, power float, power trowel	Industrial slabs (concrete is non-air-entrained)	SOV $F_F = 45$ SOV $F_L = 35$

*SOV is the specified overall value

puddle areas should exist. However, these two requirements are contradictory, as the gap under the straightedge specification essentially defines a puddle no deeper than 1/2 in. This contradiction is found in many project specifications.

This project included a unique requirement for petrographic analysis of the concrete in areas where power trowels were used: “At the contractor’s expense, a petrographic analysis is required in each area where a power trowel is used to verify the air content at the slab surface is within specified limits.” Several ASCC contractors felt that the owner would not accept the final broom finish appearance unless the surface was power floated in advance of brooming, so they proceeded to power float the surface. While the appearance may have improved, the engineer enforced the petrographic requirement that cost the contractors more than \$30,000. Based on this experience, the contractors all say they will not power float prior to broom finish ever again.

Parking structure, Los Angeles, CA, USA, 2020

The specification for this project had no flatness requirement. For a broom finish, it first required a float finish, then a light steel trowel, and then brooming. The swirl finish also started with a float finish and continued with hand floating to produce a swirl. It should be noted that the project did not require air-entrained concrete, and thus the specifications may be appropriate for this use.

Walker Consultants parking structures

Chrest et al.² provide recommendations from a well-known parking structure consultant. Note, they recommend a 1/2 in. gap under a 10 ft straightedge for floor flatness: “Finishing tolerance: That gap at any point between the straightedge and the floor (and between the high spots) shall not exceed 0.5 in.” This would be equivalent to ACI 117 conventional floor classification.

Measured F-numbers on broomed surfaces

ACI PRC-330-21, Section 5.5.4, recommends the steps for finishing shown in Fig. 3.

Malisch et al.¹⁶ summarized broom specifications, broomed surface finish techniques, broomed surface tolerances, and provided floor flatness (F_F) measurements for different textures of broomed surfaces. Table 4 lists the measured F_F in accordance with ASTM E1155 for different broom textures provided by three different finishing techniques. The F_F values range from a low of 14.0 to a high of 22.0.

ASCC Finishing Committee

The unanimous opinion of the ASCC Finishing Committee was not to have F-numbers specified on textured finishes. The major objection was that the surface texture was too variable, resulting in widely different F_F values. One concrete contractor reported surface measurements of a swirl finish achieving a maximum 1/2 in. under a 10 ft straightedge, and a couple of

contractors reported measured F_F values ranging from 12 to 15 for a swirl finish.

Broom and Swirl Test Panel

Section 10.15.1.1 of ACI 302.1R recommends that: “The selection of proper F_F/F_L tolerances for a project is best made by measurement of a similar satisfactory floor.” To accommodate this recommendation, a 6 in. (150 mm) thick, 20 ft (6 m) wide, and 80 ft (24 m) long slab-on-ground test panel (Fig. 1

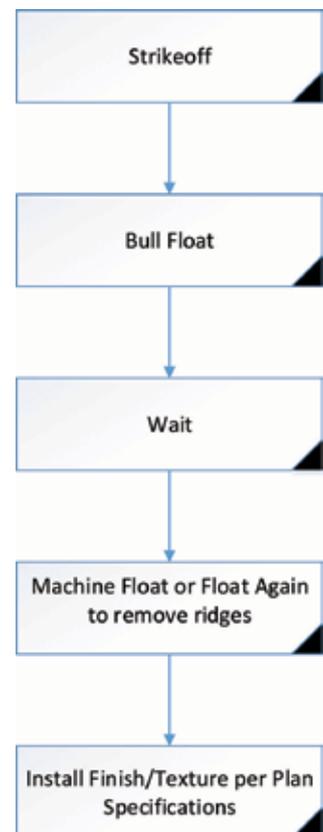


Fig. 3: Steps for finishing parking lots (Fig. 5.5.4 in ACI PRC-330-21¹³)

and 4) was recently constructed at a contractors' facility in Martinez, CA. The 1600 ft² (150 m²) test panel was reinforced with No. 4 bars at 14 in. (356 mm) on center, each way, at middepth of the slab. Four truckloads of concrete (32 yd³ [25 m³] total) were delivered from a plant in Oakland, CA, located 30 miles (48 km) from the site. A 28 m (92 ft) pump placed concrete in two strips in the long direction, requiring the transverse broom and swirl finish to cope with the concrete variations in two truckloads. The ambient air temperature was 45°F (7°C) on an overcast day.

Test panel finishes

The 20 x 80 ft test panel was divided into four 20 x 20 ft sections, each with a different finish:

- Swirl finish (Fig. 1(a));
- Broom finish (Fig. 1(b));
- Pan float finish (used prior to swirl); and
- Bullfloat (used pan floating).

The test panel was constructed in this manner to evaluate the effect the swirl or broom finish had on the surface flatness prior to application. F-numbers were measured and evaluated on each surface separately.

Concrete mixture

The concrete mixture used (Table 5) was appropriate for post-tensioning slabs and beams. The design compressive strength was 3000 psi (21 MPa) at 3 days for post-tensioning and 5500 psi (38 MPa) at 28 days. Slump was specified as 6 ± 1.5 in. (152 ± 38 mm), air content at less than 2%, and a maximum water-cementitious materials ratio (*w/cm*) of 0.45.

Placing and finishing procedures

Concrete was placed with a boom pump, vibrated with a backpack vibrator, and screeded by hand with a 16 ft (5 m) straightedge using a 3 ft (1 m) overlapping pass. Next, a 6 ft (2 m) channel float was used to smooth the screeded concrete (Fig. 4(b)). After waiting until the bleed water disappeared and the concrete stiffened, a 36 in. (914 mm) walk-behind machine with a

Table 4:
Measured F_F for different broom textures

Finishing technique	Light broom	Medium broom	Heavy broom
Type A	19.9	22.0	21.3
Type B	16.3	19.7	14.0
Type C	17.6	16.5	20.7

Type A—hand screed with 16 ft (5 m) long magnesium straightedge, 4 ft (1.2 m) wide magnesium bullfloat, 3 ft (1 m) wide broom.

Type B—12 ft (3.7 m) long handheld vibrating screed, 4 ft wide magnesium bullfloat, 3 ft wide fresno, 3 ft wide broom.

Type C—12 ft handheld vibrating screed, 4 ft wide magnesium bullfloat, 3 ft walk-behind machine with float shoes, 3 ft wide fresno, 3 ft wide broom.

Table 5:
Materials, quantities, and volumes for the test panel concrete

Material	Description	Design quantity, lb/yd ³	Volume, ft ³
Cement	ASTM C150/C150M ¹⁸	415	2.11
Slag cement	ASTM C989/C989M ¹⁹	178	0.98
Total cementitious materials		593	3.09
Coarse aggregate, No. 57	ASTM C33/C33M ²⁰	1600	8.90
Intermediate aggregate		350	2.12
Fine aggregate		1414	8.06
Total aggregates		3364	19.08
Water	ASTM C1602/C1602M ²¹	267	4.28
Target air content of 2.0%	—	—	0.54
Sum		4224	27.00

Note: 1 lb/yd³ = 0.6 kg/m³



Fig. 4: Initial steps in the construction of a 20 x 80 ft (6 x 24 m), 6 in. (150 mm) thick test panel used to evaluate the effects of swirl and broom finishes on F-numbers: (a) formwork, reinforcement, pump, and crew are in place; and (b) concrete placement nearing completion. Concrete was pumped, internally vibrated, struck off using a 16 ft (5 m) long screed, and smoothed using a 6 ft (2 m) channel float

pan was used (Fig. 5). A swirl finish was then applied to the panned surface with a small hand brush (Fig. 1(a)).

Following panning, finishers on kneeboards used a hand float and trowel (Fig. 6), after which a 3 ft wide broom made of a 50/50 mixture of horsehair and plastic was used to finish the surface of an adjacent panel (Fig. 1(b)). The surface was purposefully broomed halfway from each side to illustrate a typical broom mark.

Flatness measurements

A technician from ATLAS used a Dipstick® to measure F-numbers (Fig. 7) on diagonal measurement lines within 24 hours after the concrete placement.



Fig. 5: After the channel float and waiting time, workers used a 36 in. (914 mm) walk-behind machine with a pan



Fig. 6: For a broom finish, after panning, finishers on kneeboards used a hand float and trowel to prepare the surface for brooming. The swirl finish was placed on the panned surface

The F_F numbers for each run and the overall combined are shown in Table 6.

Project F_F for swirl finish

The workers that provided the swirl finish on the test panel also provided a swirl finish on a parking garage project. The project requirements included measured F-numbers to meet a specified MLV F_F of 25. F-numbers were measured on two different placements with the swirl finish. The engineer stopped the F-number measurements after receiving the first two F-number reports and deleted the F-number requirement for the swirl finish. Table 7 provides the measured F_F for each test area and the combined F_F for each

placement. Note that the two combined F_F values were 17.90 for Placement 1 and 15.84 for Placement 2. The test area F_F values ranged from 11.25 to 22.85. All F_F values were below the initial specification requirement.

Summary and Analysis

Table 8 provides a summary of the information presented for flatness measurement methods and values and finishing techniques. It is easy to see that there is no consensus among the different sources of information.

Broom finish

Flatness—Two major construction documents, ACI 301-20 and AIA



Fig. 7: Technician uses a Dipstick® to measure F-numbers on parallel measurement lines for each test panel section: swirl, broom, pan float, and bullfloat finish

Table 6:
Measured F_F for the test panel

Section finish	Area, ft ²	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Combined
Bullfloat	400	19.63	27.06	17.28	15.88	19.33
Machine float	400	26.53	24.74	22.03	17.97	22.82
Broom	400	32.50	30.20	30.39	28.25	30.51
Swirl	400	24.28	21.99	25.22	18.50	22.29

Table 7:
Project-measured F_F numbers for swirl finish

Placement	Swirl finish	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Combined
1	F_F	22.85	12.72	16.56	—	17.90
	Area, ft ²	1677	1147	1760	—	5432
2	F_F	15.94	17.46	11.25	19.37	15.84
	Area, ft ²	3876	480	1512	1638	7506

Table 8:**Summary of flatness measurement methods and values and finishing techniques for broom and swirl finishes**

Information source	Flatness method	Flatness value	Finishing broom	Finishing swirl
ACI 117-10(15)	F-number Gap under straightedge	Requires engineer to specify	N/A	N/A
ACI 301-20	Defaults to F-numbers	No requirements for broom, but requires SOF _F of 20 prior to broom	Requires float finish prior to broom	No statement
ACI 302.1R-15	Prefers F-numbers	Recommends SOF _F of 20 for parking structure slabs	For fine broom, broom freshly troweled surface. For coarse broom, broom after floating. For silica fume parking garages, bullfloat then broom	For smooth swirl, use steel trowel in a swirling motion. For coarse swirl, use hand float after machine float
ACI 310R-19	Prefers F-numbers	Provides no recommendations	No statement	No statement
ACI 330.1-03	Gap under straightedge	Requires 1/2 in. for broom finish	Bullfloat, then broom. Do not use steel trowels or power finishing equipment	N/A
ACI 330.1-14	No requirement	N/A	Bullfloat, then broom. Do not use trowels	N/A
ACI 330.2R-17	No requirement	N/A	Bullfloat, then broom. Power floating or troweling not recommended for air-entrained concrete	N/A
ACI PRC-330-21	No requirement	N/A	Bullfloat, then broom. Power floating not recommended but is optional and may produce more consistent final finish	N/A
ACI 362.1R-12	No requirement	N/A	Follow ACI 302.1R-04	Follow ACI 302.1R-04
ACI CCS-1(10)	F-numbers	Recommends SOV F _F of 20 for parking garages, parking lots, and exterior concrete for broom finish	Bullfloat, then broom	N/A
AIA MasterSpec, Cast-In-Place Concrete	F-numbers Gap under straightedge	No requirement for broom finish	Requires float finish prior to broom	No statement
Parking structure, Colorado	Gap under straightedge	1/2 in. for broom finish	Bullfloat then broom. Power floating not recommended but if done, cores must be examined to prove air content at the surface	N/A
Parking structure, Los Angeles, CA	No requirements	N/A	Float, light trowel, then broom	Float prior to swirl
Chrest et al. ²	Gap under straightedge	1/2 in. for swirl finish	N/A	Bullfloat, wait, then swirl
Malisch et al. ¹⁶	Measured F-numbers	F _F ranges from 14 to 22 for broom finish	Three methods: (1) bullfloat, broom; (2) bullfloat, freso, broom; and (3) bullfloat, machine float, freso, broom	N/A
Test panel, Martinez, CA	Measured F-numbers	Broom F _F 31 Swirl F _F 22 Machine float F _F 23 Bullfloat F _F 19	Machine float, then hand float and trowel prior to broom	Machine float prior to swirl
Parking garage project	Measured F-numbers	Six test areas: F _F ranges from 11 to 23 for swirl finish	N/A	Machine float prior to swirl

Note: 1 in. = 25 mm; N/A is not applicable

MasterSpec, did not require flatness measurements for a broom finish. ACI 302.1R-15 recommends F-numbers for parking structure slabs, and ACI CCS-1(10) recommends F-numbers for parking structure slabs, parking lots, and other exterior concrete.

While ACI 330.1-14 is silent, the previous edition, ACI 330.1-03, required a 1/2 in. maximum gap under a 10 ft unlevleed straightedge. A project specification in Colorado also used this requirement. Tipping and Smith²² used 100 individual measurement profiles, each 100 ft (30.5 m) long, to analyze the relationship between flatness and gap under a straightedge. They reported corresponding F_F values ranging from 17.4 to 27.7. This is also reported in ACI 117-10(15) commentary.

Malisch et al.¹⁶ reported flatness values of light, medium, and heavy broomed surfaces ranging from 14 to 22. Surprisingly, the test panel broom surface flatness measured 31. This high value is likely due to the hand float and trowel application prior to the brooming. While the test panel was for non-air-entrained concrete, this finishing procedure is unlikely to be used on air-entrained concrete. In addition, hand finishing is expensive.

As expected, and shown with the test panel, the flatness for the bullfloat was 19, and the machine float was 23. ACI 117 and ACI 302.1R indicate that a bullfloat flatness will be about 20. For a bullfloat and broom finish, the flatness expectation should be about 20 or below. This also matches the test results from Malisch et al.¹⁶

Is a flatness requirement necessary for a broomed surface? That is the approach of ACI 301 and AIA MasterSpec and certainly deserves more discussion. However, if a flatness requirement is deemed necessary, the authors prefer using F-numbers because of the procedural approach in ASTM E1155. While there is a straightedge measurement procedure approach in ACI 117, it doesn't appear to be in use. The authors would recommend SOV for flatness between 15 and 20, but certainly not over 20.

Finishing procedure—The surprising finishing procedure was the hand float and trowel used prior to the brooming of non-air-entrained concrete for the test panel and the resulting flatness of 31. Section 5.5.4.3 of ACI PRC-330-21 includes an interesting statement that power floating “may help to produce a more consistent final finish” but also notes that: “Typically, power floating is not recommended for exterior pavements....”

ASCC contractors say they frequently can't get the owner or architect to accept the broom finish appearance unless they power float or use a fresno to remove the ridges left by bullfloating. This is especially difficult when a 2 ft square broom reference sample is used as a comparison because this sample size isn't representative of the difficulty of brooming a 15,000 ft² (1390 m²) placement.

Malisch et al.¹⁶ also discuss the issues associated with small sample references versus expectations for a broom finish on large concrete placements. The authors recommend that brooming for both non-air-entrained and air-entrained

concrete be bullfloat and broom, both accomplished prior to any bleed water appearing on the surface. For a 15,000 ft² placement, this allows the finish to be completed without having to wait and step back into, or on, the concrete to perform further work. Finally, the durability of the top surface should govern the required finish, not the appearance.

Swirl finish

Flatness—Except for the 1/2 in. gap under a 10 ft straightedge used by Chrest et al.,² all other documents are silent on a flatness requirement for a swirl finish. The project specification for which the test panel was created required a minimum local flatness of 25. The contractor didn't believe this was going to be possible and constructed a test panel to determine what was feasible. As often occurs, the flatness of 22 measured for the test panel was at the high end of that measured for the six project test areas, ranging from 11 to 23.

Is a flatness requirement necessary for a swirl surface? There is likely a lot of swirl finish that exists that was never measured for flatness. However, if a flatness requirement is deemed necessary, the authors prefer using F-numbers because of the procedural approach in ASTM E1155. The authors would recommend a specified overall flatness value between 15 and 20, but certainly not over 20.

Finishing procedure—There are different ways to produce a swirl finish. However, applying the finish must wait until the concrete is stiff enough to place a swirl that will hold its shape. Thus, we don't see a swirl being provided immediately after bullfloat, but rather waiting until the concrete stiffens. As was done in the test panel, we anticipate a machine float prior to hand applying a swirl finish.

Recommendations

The authors believe that a consensus can't be achieved by individual ACI committees but requires coordination between ACI Committees 302, 330, and 362, and Joint ACI-ASCC Committees 117, Tolerances, and 310, Decorative Concrete. We recommend that representatives from each committee have a separate meeting at an ACI convention or at an ASCC-sponsored workshop to discuss flatness requirements.

We present these five questions for discussion:

1. Do textured finishes need a flatness requirement? This includes not only broom and swirl finishes but also architectural finishes, such as embossing, imprinting, stenciling, and stamping.
2. If a flatness requirement is necessary, what procedures and criteria are appropriate?
3. How should finishing procedures be accomplished for air-entrained and non-air entrained exterior concrete with textured surfaces?
4. The balancing act—what is number one: appearance, durability, or flatness?
5. How does the need for drainage impact the flatness requirement? What drainage slopes are compatible with what flatness values?

Project credits

The Conco Companies, Concrete Contractor, and Hector Campos-Diaz, ATLAS, Testing Agency.

References

1. ACI Committee 362, "Guide for the Design and Construction of Durable Concrete Parking Structures (ACI 362.1R-12)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2012, 24 pp.
2. Chrest, A.P.; Smith, M.S.; Bhuyan, S.; Monahan, D.R.; and Iqbal, M., *Parking Structures, Volume I: Planning, Design, Construction, Maintenance & Repair*, third edition, Springer Science+Business Media, 2012, 856 pp.
3. 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.
4. ACI Committee 302, "Guide to Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-15)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 76 pp.
5. Collins, T.C.; Panarese, W.C.; and Bradley, B.J., "Concrete Finisher's Guide," *EB122*, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2006, 74 pp.
6. ACI Committee 117, "Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-10) and Commentary (Reapproved 2015)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp.
7. ASTM E1155-20, "Standard Test Method for Determining F_F Floor Flatness and F_L Floor Levelness Numbers," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 8 pp.
8. Joint ACI-ASCC Committee 310, "Guide to Decorative Concrete (ACI 310R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 48 pp.
9. ACI Committee 302, "Guide to Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-04)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2004, 77 pp.
10. ACI Committee 330, "Specification for Unreinforced Concrete Parking Lots (ACI 330.1-03)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 6 pp.
11. ACI Committee 330, "Standard Specification for Plain Concrete Parking Lots (ACI 330.1-94)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1994, 7 pp.
12. 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.
13. 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.
14. ACI Committee E703, "Concrete Craftsman Series: Slabs-on-Ground (CCS-1(10))," third edition, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2009, 68 pp.
15. MasterSpec[®], The American Institute of Architects (AIA), Washington, DC.
16. Malisch, W.R.; Suprenant, B.A.; and Salzano, F., "Specifying Broomed Exterior Concrete Surfaces," *The Construction Specifier*, Mar. 2015, 7 pp., <https://www.constructionspecifier.com/specifying-broomed-exterior-concrete-surfaces/>.
17. ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction

(ACI 301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.

18. ASTM C150/C150M-21, "Standard Specification for Portland Cement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 9 pp.

19. ASTM C989/C989M-18a, "Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 7 pp.

20. ASTM C33/C33M-18, "Standard Specification for Concrete Aggregates," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, 8 pp.

21. ASTM C1602/C1602M-18, "Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 5 pp.

22. Tipping, E., and Smith, R., "A Comparison of Floor Tolerance Measuring Approaches—F-Numbers, 10-Foot (305 cm) Straightedge, and Waviness Index," *Ward R. Malisch Concrete Construction Symposium*, SP-338, B. Suprenant and O. Antommattei, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, pp. 29-35.

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **Lingfeng (Leo) Zhang** is a Virtual Construction Manager at The Conco Companies, San Francisco, CA. He is a member of ACI Committee 131, Building Information Modeling of Concrete Structures, and Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances. Zhang received his BS in material physics from Dalian University of Technology, Dalian, China, and his MS in construction management from the

University of Florida, Gainesville, FL, USA.



ACI member **James Klinger** is a Concrete Construction Specialist for the American Society of Concrete Contractors (ASCC), St. Louis, MO, USA. He is a member of ACI Committees 134, Concrete Constructability, and 318, Structural Concrete Building Code; Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances; and ACI Subcommittee 318-A, General, Concrete, and Construction. Klinger received his master's degree in

structural engineering from the University of Maryland, College Park, MD, USA.



Bruce A. Suprenant, FACI, is the ASCC Technical Director, St. Louis, MO. 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.

Números F y texturizados

Acabados de superficies de concreto

Estructuras de estacionamiento y estacionamientos con acabados de remolino y escoba

por *Lingfeng (Leo) Zhang, James Klinger y Bruce A. Suprenant*

Los acabados extruidos generalmente se especifican para superficies de trabajo de estructuras de estacionamiento, estacionamientos, aceras comerciales y pasarelas. A veces se especifica un acabado en espiral (Fig. 1(a)) para estructuras de estacionamiento y el Comité 362 de ACI, Estructuras de estacionamiento (ACI 362.1R) recomienda ese uso.¹⁾ y otros (Chrest et al.²⁾. Un acabado de escoba (Fig. 1(b)) se especifica comúnmente para estacionamientos y otro concreto exterior y se recomienda para ese uso por los Comités 330 de ACI, Estacionamientos de concreto y pavimentación del sitio, y 302, Construcción de pisos de concreto (ACI 330.1).³ y ACI 302.1R⁴⁾ y otros (Collins et al.⁵⁾. Desafortunadamente, los contratistas se encuentran con documentos de construcción que especifican números F inalcanzables para losas que también se especifican para tener acabados de remolino y cepillo. Además de la confusión, se requieren o recomiendan varias técnicas de acabado para estos acabados. Por lo tanto, vemos la necesidad de discutir la confusión de la industria con respecto a los números F y el logro de acabados de escoba y remolino texturizados.

Especificaciones del proyecto Números F

Algunos contratistas de concreto se encuentran con especificaciones de proyectos que requieren valores generales especificados (SOV) de planicidad del piso de hasta 50, con valores locales

mínimos (MLV) de 35, para superficies que también se especifican para tener un acabado de cepillo. Una especificación de proyecto requería un MLV de 25 para una superficie especificada para tener un acabado de remolino. La base para estos valores especificados no está clara.

Refinamiento

Las técnicas de acabado requeridas o recomendadas para los acabados texturizados varían de un proyecto a otro. El problema principal es si se debe mecanizar el flotador antes de aplicar un acabado texturizado. Este problema debe abordarse por separado para el hormigón con aire incorporado y sin aire incorporado.



Figura. 1: Aplicación de acabados a un panel de prueba: (a) acabado de remolino con cepillo; y (b) acabado de escoba

Especificaciones y recomendaciones de ACI

Varios documentos de ACI incluyen números F y métodos de acabado para losas de piso. A continuación se proporciona un resumen de dichos documentos.

Especificación ACI 117

ACI117-10(15)⁶ proporciona los requisitos para el sistema de números F (Tabla 1 basada en la Tabla 4.8.5.1) y el método de regla manual (Tabla 2 basada en la Tabla 4.8.6.1) según la aplicación de la superficie del piso. La sección de comentarios R4.8.4 proporciona orientación para definir la aplicación de superficie:

- Convencional: adecuado para salas de máquinas, áreas no públicas, superficies debajo de pisos elevados para computadoras o baldosas gruesas;

- Moderadamente plano: Adecuado para el área alfombrada de edificios de oficinas comerciales o edificios industriales con tráfico vehicular de baja velocidad;

- Plano: apropiado para revestimientos de cerámica, losetas de vinilo o similares de capa delgada y almacenes que emplean carretillas elevadoras y estantes convencionales;

- Muy plano: restringido a aplicaciones industriales de alto nivel, como carretillas elevadoras de alta velocidad, tarimas neumáticas o equipos similares; y

- Súper plano: adecuado para aplicaciones limitadas, como estudios de producción de televisión. Desafortunadamente, el documento no ofrece orientación para lograr superficies texturizadas.

Guía ACI 302.1R

Sección 10.15.1.1 de ACI 302.1R-15⁴ recomienda que: “La selección de las tolerancias adecuadas de FF/FL para un proyecto se hace mejor mediante la medición de un piso similar satisfactorio. Esta medida se utiliza luego como la base para la especificación de tolerancia de FF/

FL para el nuevo proyecto.” Cuando la medición de un piso similar no es práctica o posible, ACI 302.1R, Sección 10.15.1.1, indica que los niveles de calidad de planitud /nivelación proporcionados en la Fig. 2 (Fig.10.9 en el documento) son razonables para las aplicaciones indicadas.

ACI 302.1R no proporciona recomendaciones de planitud/nivelación para acabados texturizados. Sin embargo, las tablas 10.15.3a y 10.15.3b indican que los requisitos de especificación típicos para la planitud general especificada (SOFF) y la nivelación general especificada (SOFL) son al menos 20 y 15, respectivamente. La Sección 10.15.1.1 también recomienda MLV del 67 % de los SOV, lo que da como resultado MLV de planitud y nivelación de 13 y 10, respectivamente. La sección establece además que: “Los valores locales mínimos nunca deben ser inferiores a FF13/FL10 porque estos valores representan los resultados locales mínimos que se pueden lograr con cualquier método de construcción de pisos de concreto”.

Guía ACI 310R

ACI 310R-19, Sección 3.6.1,⁸ proporciona información sobre el sistema de números F, lo que indica que es la especificación estándar preferida para medir la planitud y nivelación de un piso de concreto. Sin embargo, el documento proporciona información contradictoria información sobre la

Tabla 1: Sistema de números F (ASTM E1155⁷método)

Superficie del suelo clasificación	Especificado en general planitud (SOFF)	Especificado en general nivelación (SOFL)
Convencional	20	15
Moderadamente plano	25	20
Plano	35	25
Muy plano	45	35
Súper plano	60	40

Tabla 2: Método de regla manual

Superficie del suelo clasificación	Espacio máximo 90% de cumplimiento Muestras que no deben exceder	Espacio máximo 100% de cumplimiento Muestras que no deben exceder
Convencional	1/2 pulg	3/4 pulg
Moderadamente plano	3/8 pulg	5/8 pulg
Plano	1/4 pulg	3/8 pulg
Muy plano	N/A	N/A
Súper plano	N/A	N/A

Nota: 1 pulg. = 25 mm; N/A no es aplicable

aplicación de ese sistema para la evaluación de superficies texturizadas, declarando: “Es difícil evaluar la planitud y nivelación de las superficies texturizadas utilizando técnicas tradicionales de prueba de número F. Los perfiles medidos con esta prueba confirmarán que las características de la superficie cumplen con los requisitos del proyecto”.

Guía ACI 362.1R

ACI 362.1R-12, Sección 7.2.2, recomienda: “Se debe aplicar un acabado de remolino flotado o cepillado de ligero a medio a las superficies de conducción y estacionamiento, excepto cuando se requiera un acabado alternativo para instalar materiales de unión”. El documento hace referencia a ACI 302.1R-04⁹ para obtener información detallada sobre el acabado y no proporciona recomendaciones sobre la medición de la planitud de la superficie.

Especificación ACI 330.1-14

ACI 330.1-14, Secciones 3.9.1 y 3.9.2, instruye: “Barrer la superficie de concreto con una escoba de acero o fibra para producir corrugaciones entre 1/16 y 1/8 de pulgada de profundidad”, y “Barrer perpendicular al borde más cercano del pavimento. Barrer todas las áreas de un panel en la misma dirección”. Mientras que ACI 330.1-14 no proporciona un requisito de planicidad de superficie, ACI330.1-03¹⁰ y ACI 330.1-94¹¹ proporcionó tolerancias de planitud de la superficie basadas en el espacio debajo de una regla de 10 pies (3 m). El espacio máximo se especificó como 1/2 pulg. (13 mm) y 1/4 pulg. (6 mm) en las ediciones de 2003 y 1994, respectivamente.

Guías ACI 330.2R y PRC-330

ACI 330.2R-17¹² y PRC-330-21¹³ recomiendan que todas las partes acuerden la aceptabilidad de la técnica de texturizado y el acabado, ya sea a través de una maqueta en una conferencia previa a la construcción o durante la etapa inicial de colocación en el proyecto. ACI PRC-330-21, Sección 5.5.4.3, indica que la flotación mecánica “puede ayudar a producir un acabado final más uniforme”. Ninguno de los documentos proporciona recomendaciones para medir la planitud de la superficie.

Documento ACI CCS-1(10)

ACI CCS-1(10)¹⁴ se utiliza para capacitar a los acabadores de concreto y brinda la información más detallada sobre los números F esperados para varios procedimientos de acabado para estacionamientos, lotes de estacionamiento, superficies exteriores de concreto, pisos y losas industriales (Tabla 3).

Especificaciones y recomendaciones de la industria

En esta sección, discutimos el contenido de AIA MasterSpec,¹⁵ ejemplos de especificaciones para proyectos construidos en Colorado y California, recomendaciones para estructuras de estacionamiento hechas por Walker Consultants,² midió los números F en superficies barridas (Malisch et al.¹⁶), y recomendaciones del Comité de Acabado de la Sociedad Estadounidense de Contratistas de Concreto (ASCC).

AIA MasterSpec® es la especificación de proyecto más utilizada en los Estados Unidos. Su Sección 033000-Concreto vaciado en el lugar requiere números F o medidas de espacio debajo de una regla solo para un acabado con llana o con llana y cepillo fino. No proporciona una tolerancia de planitud para un acabado de escoba. Como ACI 301-20¹⁷, MasterSpec requiere un acabado flotado antes del barrido. Sin embargo, a diferencia de ACI 301, MasterSpec no tiene una tolerancia de planitud para un acabado flotado.

Estructura de estacionamiento, Colorado, EE.UU., 2015

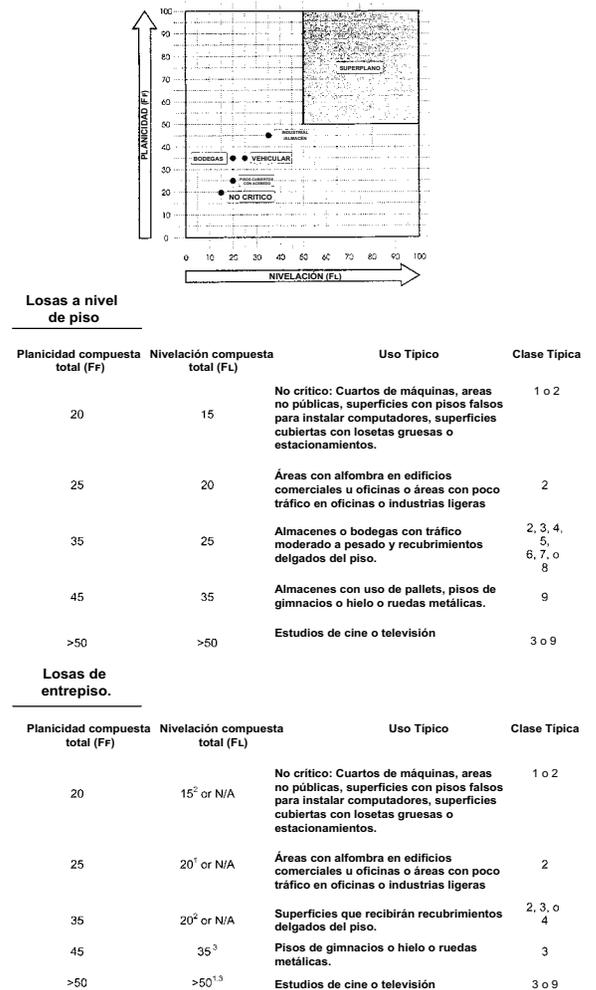
La especificación para este proyecto requería un espacio máximo de 1/2 pulgada debajo de una regla de 10 pies y establecía que no deben existir áreas de

Tabla 3: Procedimientos de acabado, usos y expectativa de número F

Procedimientos	Usar	Expectativa de número F*
Solera, flotador, escoba	Estacionamientos, (el concreto es aire incluido)	SOV FF= 20 SOV FL= 15
Solera, flotador, borde/junta, escoba	Trabajos de alisado de hormigón exterior (el hormigón tiene aire incorporado)	SOV FF= 20 SOV FL= 15
Solera, flotador/borde recto, período de espera, flotador motorizado, allanadora motorizada	Pisos para tiendas, comercios, escuelas (concreto no tiene aire incorporado)	SOV FF= 35 SOV FL= 25
Solera, flotador/borde recto, período de espera, flotador motorizado, allanadora motorizada	Losas industriales (el concreto no tiene aire incorporado)	SOV FF= 45 SOV FL= 35

*SOV es el valor total especificado

PLANICIDAD / NIVELACIÓN GUÍA TÍPICA



NOTAS
 1.- La calidad multidireccional de este nivel requiere devastado de las juntas.
 2.- Los números F de nivelación solo aplican para losas a nivel apuntaladas al momento de la prueba
 3.- Esta calidad de nivelación en una losa suspendida o de entrepiso, requiere de colocación en dos sentidos.
 4.- Todas las muestras de las elevaciones deberán de caer dentro de margen de tolerancia de 1/8" de profundidad

Figura 2: Guía típica para planitud / nivelación (Fig. 10.9 en ACI-302.1R-15⁴)

charcos. Sin embargo, estos dos requisitos son contradictorias, ya que el espacio debajo de la especificación de la regla esencialmente define un charco de no más de 1/2 pulgada de profundidad. Esta contradicción se encuentra en muchas especificaciones de proyectos.

Este proyecto incluía un requisito único para el análisis petrográfico del concreto en áreas donde se usaron allanadoras mecánicas: “A cargo del contratista, se requiere un análisis petrográfico en cada área donde se usa una allanadora mecánica para verificar que el contenido de aire en la superficie de la losa esté dentro de los límites especificados.” Varios contratistas de ASCC sintieron que el propietario no aceptaría la apariencia final del acabado con cepillo a menos que la superficie se flotara mecánicamente antes del barrido, por lo que procedieron a limpiar mecánicamente la superficie. Si bien la apariencia puede haber mejorado, el ingeniero hizo cumplir el requisito petrográfico que costó a los contratistas más de \$30,000. Con base en esta experiencia, todos los contratistas dicen que nunca más volverán a utilizar flotadores eléctricos antes de terminar con la escoba.

Estructura de estacionamiento, Los Ángeles, CA, EE. UU., 2020

La especificación para este proyecto no tenía requisitos de planicidad. Para un acabado con escoba, primero se requería un acabado flotado, luego una llana de acero liviana y luego una escoba. El acabado de remolino también comenzó con un acabado de flotación y continuó con flotación manual para producir un remolino. Cabe señalar que el proyecto no requería hormigón con aire incluido y, por lo tanto, las especificaciones pueden ser apropiadas para este uso.

Walker Consultants estructuras de estacionamiento

Chrest et al.² proporcionan recomendaciones de un conocido consultor de estructura de estacionamiento. Tenga en cuenta que recomiendan un espacio de 1/2 pulgada debajo de una regla de 10 pies para que el piso quede plano: "Tolerancia de acabado: ese espacio en cualquier punto entre la regla y el piso (y entre los puntos altos) no debe exceder las 0,5 pulgadas". Esto sería equivalente a la clasificación de piso convencional ACI 117.

Números F medidos en superficies barridas

ACIPRC-330-21, Sección 5.5.4, recomienda los pasos para el acabado que se muestran en la Fig. 3. Malish et al.¹⁶ especificaciones resumidas de la escoba, técnicas de acabado de la superficie cepillada, tolerancias de la superficie cepillada y planicidad proporcionada del piso (FF) medidas para diferentes texturas de superficies barridas. La Tabla 4 enumera la FF medida de acuerdo con ASTM E1155 para diferentes texturas de cepillo proporcionadas por tres técnicas de acabado diferentes. Los valores de FF oscilan entre un mínimo de 14,0 y un máximo de 22,0.

Comité de Finalización de ASCC

La opinión unánime del Comité de Acabado de la ASCC fue no tener números F especificados en los acabados texturizados. La principal objeción fue que la textura de la superficie era demasiado variable, lo que resultó en valores FF muy diferentes. Un contratista de concreto informó mediciones de superficie de un acabado de remolino logrando un máximo de 1/2 pulg. debajo de una regla de 10 pies, y un par de los contratistas informaron valores de FF medidos que van de 12 a 15 para un acabado en espiral.

Panel de prueba de escoba y remolino

La Sección 10.15.1.1 de ACI 302.1R recomienda que: “La selección de las tolerancias adecuadas de FF/FL para un proyecto se hace mejor mediante la medición de un piso similar satisfactorio”. Para cumplir con esta recomendación, un panel de prueba de losa sobre suelo de 150 mm (6 pulg.) de espesor, 6 m (20 pies) de ancho y 24 m (80 pies) de largo (Fig. 1 y 4) se construyó recientemente en las instalaciones de un contratista en Martinez, CA.

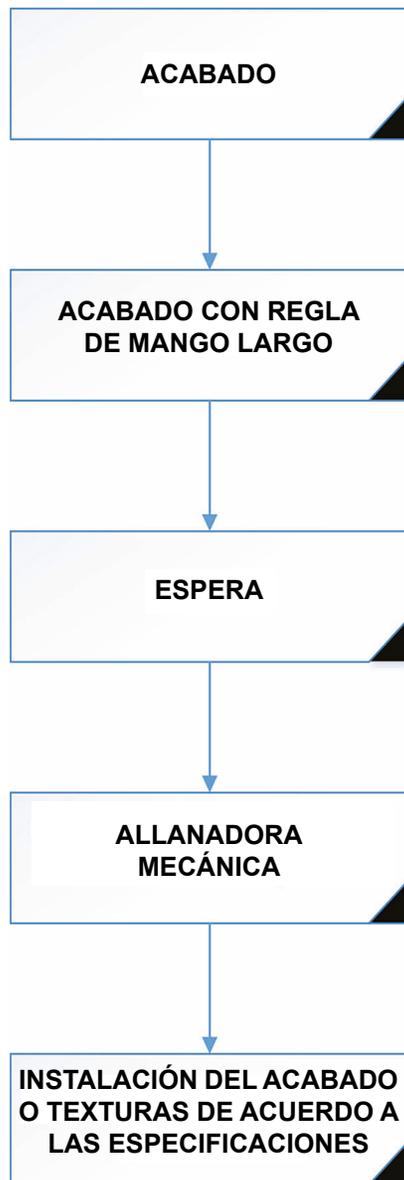


Figura. 3: Pasos para el acabado de estacionamientos (Fig. 5.5.4 en ACI PRC-330-2113)

El panel de prueba de 1600 pies² (150 m²) se reforzó con barras No. 4 a 14 pulg. (356 mm) en el centro, en cada sentido, a la mitad de la profundidad de la losa. Cuatro camiones cargados de concreto (32 yd³ [25 metros³] en total) se entregaron desde una planta en Oakland, CA, ubicada a 30 millas (48 km) del sitio. Una bomba de 28 m (92 pies) colocó concreto en dos tiras en la dirección longitudinal, lo que requirió el cepillo transversal y el acabado de remolino para hacer frente a las variaciones de concreto en dos camiones. La temperatura del aire ambiente era de 45°F (7°C) en un día nublado.

Acabados del panel de prueba

El panel de prueba de 20 x 80 pies se dividió en cuatro secciones de 20 x 20 pies, cada una con un acabado diferente:

- Acabado en espiral (Fig. 1(a)); Acabado con escoba (Fig. 1(b));
- Acabado de flotador de bandeja (usado antes del remolino); y
- Bullfloat (bandeja flotado usada). El panel de prueba se construyó de esta manera para evaluar el efecto que tenía el acabado de remolino o cepillo sobre la planitud de la superficie antes de la aplicación. Los números F se midieron y evaluaron en cada superficie por separado.

Mezcla de hormigón

La mezcla de concreto utilizada (Tabla 5) fue apropiada para el postensado de losas y vigas. La resistencia a la compresión de diseño fue de 3000 psi (21 MPa) a los 3 días para el postesado y de 5500 psi (38 MPa) a los 28 días. El asentamiento se especificó como $6 \pm 1,5$ pulg. (152 ± 38 mm), contenido de aire inferior al 2% y una relación máxima de agua-materiales cementantes (A/mc) de 0.45

Procedimientos de colocación y acabado.

El hormigón se colocó con una bomba de pluma, se hizo vibrar con un vibrador portátil y se enrasó a mano con una regla de 5 m (16 pies) usando una pasada superpuesta de 1 m (3 pies). A continuación, se utilizó un flotador de canal de 6 pies (2 m) para alisar el hormigón enrasado (Fig. 4(b)). Después de esperar hasta que desaparezca el agua de sangrado y se endurezca el concreto, se usó una Allanadora mecánica de tipo helicóptero de 914 mm (36 pulg.) con una sartén (Fig. 5). Luego se aplicó un acabado de remolino a la superficie moldeada con un cepillo de mano pequeño (Fig. 1 (a)).

Tabla 4: F medidor para diferentes texturas de escoba

Técnica de acabado	Escoba ligera	Escoba mediana	Escoba pesada
Tipo A	19.9	22.0	21.3
Tipo B	16.3	19.7	14.0
Tipo C	17.6	16.5	20.7

Tipo A: regla manual con regla de magnesio de 5 m (16 pies) de largo, flotador de magnesio de 1,2 m (4 pies) de ancho, escoba de 1 m (3 pies) de ancho.

Tipo B: regla vibratoria manual de 12 pies (3,7 m) de largo, flotador de magnesio de 4 pies de ancho, fresno de 3 pies de ancho, barredora de 3 pies de ancho.

Tipo C: regla vibratoria manual de 12 pies, flotador de magnesio de 4 pies de ancho, máquina de operador caminando de 3 pies con zapatas flotadas, fresno de 3 pies de ancho, barredora de 3 pies de ancho.

Tabla 5: Materiales, cantidades y volúmenes para el concreto del panel de prueba

Material	Descripción	Cantidad de diseño, lb/yd ³	Volumen, pie ³
Cemento	ASTM C150/C150M ¹⁸	415	2.11
Cemento de escoria	ASTM C989/C989M ¹⁹	178	0.98
Materiales cementicios totales		593	3.09
Agregado grueso, No. 57	ASTM C33/C33M ²⁰	1600	8.90
Agregado intermedio		350	2.12
Agregado fino		1414	8.06
Agregados totales		3364	19.08
Agua	ASTM C1602/C1602M ²¹	267	4.28
Contenido de aire objetivo de 2.0%	--	--	0.54
Suma		4224	27.00

Nota: 1 lb/yd³= 0,6 kg/m³



Figura 4: Pasos iniciales en la construcción de un panel de prueba de 20 x 80 pies (6 x 24 m) y 6 pulgadas (150 mm) de espesor utilizado para evaluar los efectos de los acabados de remolino y cepillo en los números F: (a) el encofrado, el refuerzo, la bomba y la cuadrilla están en su lugar; y (b) la colocación del concreto está a punto de completarse. El hormigón se bombeó, se hizo vibrar internamente, se niveló con una regla de 5 m (16 pies) de largo y se alisó con un flotador de canal de 2 m (6 pies)

Después del paneo, los acabadores en los rodapiés usaron una llana manual y una llana (Fig. 6), después de lo cual se usó una escoba de 3 pies de ancho hecha de una mezcla 50/50 de crin de caballo y plástico para terminar la superficie de un panel adyacente (Fig. 1 (b)). La superficie fue cepillada a propósito a la mitad de cada lado para ilustrar una marca de escoba típica.

Proyecto FF para acabado en espiral

Los trabajadores que proporcionaron el acabado en espiral en el panel de prueba también proporcionaron un acabado en espiral en un proyecto de estacionamiento. Los requisitos del proyecto incluyeron números F medidos para cumplir con un MLV FF especificado de 25. Los números F se midieron en dos ubicaciones diferentes con el acabado en espiral. El ingeniero detuvo las mediciones del número F después de recibir los dos primeros informes del número F y eliminó el requisito del número F para el acabado en espiral. La Tabla 7 proporciona la FF medida para cada área de prueba y la FF combinada para cada colocación. Tenga en cuenta que los dos FF combinados los valores fueron 17,90 para la ubicación 1 y 15,84 para la ubicación 2. El área de prueba FF los valores oscilaron entre 11,25 y 22,85. Todo FF los valores estaban por debajo del requisito de especificación inicial.



Figura. 5: Después de la flotación del canal y el tiempo de espera, los trabajadores usaron una allanadora mecánica de tipo helicóptero de 36 in (914 mm) con una bandeja

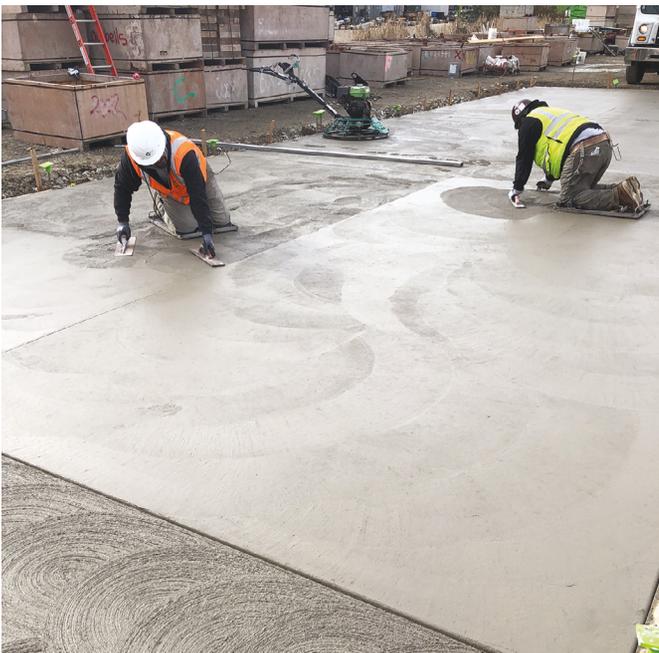


Figura. 6: Para un acabado con escoba, después del barrido, los acabadores en los rodapiés usaron una llana manual y una llana para preparar la superficie para el barrido. El acabado de remolino se colocó en la superficie panoramizada.

Mediciones de planitud

Un técnico de ATLAS usó un Dipstick® para medir los números F (Fig. 7) en líneas de medición diagonales dentro de las 24 horas posteriores a la colocación del concreto. Los números FF para cada corrida y el total combinado se muestran en la Tabla 6.



Figura. 7: El técnico usa una varilla medidora® para medir los números F en líneas de medición paralelas para cada sección del panel de prueba: remolino, escoba, flotador de plato y acabado de flotador

Tabla 6: F_F medido para el panel de prueba

Acabado de sección	Área, pies ²	Ejecutar 1	Ejecutar 2	Ejecutar 3	Ejecutar 4	Conjunto
Carroza	400	19.63	27.06	17.28	15.88	19.33
Flotador de máquina	400	26.53	24.74	22.03	17.97	22.82
Escoba	400	32.50	30.20	30.39	28.25	30.51
Remolino	400	24.28	21.99	25.22	18.50	22.29

Tabla 7: Número F_F medido por proyecto para acabado en espiral

Colocación	Remolino acabado	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Conjunto
1	F _F	22.85	12.72	16.56	--	17.90
	área, pies ²	1677	1147	1760	--	5432
2	F _F	15.94	17.46	11.25	19.37	15.84
	área, pies ²	3876	480	1512	1638	7506

Tabla 8: Resumen de métodos y valores de medición de planitud y técnicas de acabado para acabados de escoba y remolino

Información fuente	Método de planitud	Valor de planitud	Escoba de acabado	Remolino de acabado
ACI 117-10(15)	Número F Espacio debajo de la regla	Requiere ingeniero para especificar	N / A	N / A
ACI 301-20	Valores predeterminados a números F	No hay requisitos para la escoba, pero requiere SOF de 20 antes escoba	Requiere acabado antes de Escoba	Sin declaración
ACI 302.1R-15	Prefiere los números F	Recomienda SOF de 20 para losas de estructura de estacionamiento	Para escoba fina, cepille la superficie recién alisada. Para escoba gruesa, escoba después de flotar. Para garajes de estacionamiento de humo de sílice, flotar y luego barrer	Para un remolino suave, use una llana de acero con un movimiento de remolino. Para un remolino grueso, use la mano flotador tras flotador de máquina
ACI 310R-19	Prefiere los números F	No proporciona recomendaciones	Sin declaración	Sin declaración
ACI 330.1-03	Espacio debajo de la regla	Requiere 1/2 pulg. para acabado de escoba	Bullfloat, luego escoba. No utilice paletas de acero ni equipos de acabado mecánicos.	N / A
ACI 330.1-14	Sin requisitos	N / A	Bullfloat, luego escoba. No use paletas	N / A
ACI 330.2R-17	Sin requisitos	N / A	Bullfloat, luego escoba. Energía o allanado no recomendado para aire incluido concreto	N / A
ACI PRC-330-21	Sin requisitos	N / A	Bullfloat, luego escoba. Potencia no recomendada pero es opcional y puede producir un acabado final más consistente	N / A
ACI 362.1R-12	Sin requisitos	N / A	Siga ACI 302.1R-04	Siga ACI 302.1R-04
ACI CCS-1(10)	Números F	Recomienda SOV F _F de 20 para estacionamientos y hormigón exterior para acabado de escoba	Bullfloat, luego escoba	N / A
AIA MasterSpec, Ejecutadas in situ Concreto	Números F Espacio debajo de la regla	No hay requisito para la escoba terminar	Requiere acabado antes de escoba	Sin declaración
Estructura de estacionamiento, Colorado	Espacio debajo de la regla	1/2 pulg. para acabado de escoba	Bullfloat luego escoba. Potencia no recomendada pero si se hace, los núcleos deben examinarse para comprobar el contenido de aire en la superficie	N / A

Estructura de estacionamiento, Los Ángeles, California	Sin requisitos	N / A	Flotador, llana liviana, luego escoba	Flotar antes de girar
Chrest et al.2	Espacio debajo de la regla	1/2 pulg. para acabado en espiral	N / A	Bullfloat, espera, luego gira
Malish et al. dieciséis	Números F medidos	FF varía de 14 a 22 para acabado de escoba	Tres métodos: (1) carroza, escoba; (2) carroza, fresno, escoba; y (3) flotador, flotador de máquina, fresno, escoba	N / A
Tablero de prueba, Martínez, California	Números F medidos	Escoba FF31 Remolino FF22 Flotador de máquina FF23 Flotador FF19	Flotador de máquina, luego flotador manual y llana antes de escoba	Flotación de la máquina antes del remolino
Garaje de Estacionamiento proyecto	Números F medidos	Seis áreas de prueba: FFrangos desde 11 a 23 para acabado en espiral	N / A	Flotación de la máquina antes del remolino

Nota: 1 pulg. = 25 mm; N/A no es aplicable

Resumen y Análisis

La Tabla 8 proporciona un resumen de la información presentada para los métodos y valores de medición de la planitud y las técnicas de acabado. Es fácil ver que no hay consenso entre las diferentes fuentes de información.

Acabado de escoba

Planicidad—Dos importantes documentos de construcción, ACI 301-20 y AIA MasterSpec, no requerían medidas de planitud para un acabado de escoba. ACI 302.1R-15 recomienda números F para losas de estructuras de estacionamiento, y ACI CCS-1(10) recomienda números F para losas de estructuras de estacionamiento, estacionamientos y otros concretos exteriores.

Si bien ACI 330.1-14 no dice nada, la edición anterior, ACI330.1-03, requería un espacio máximo de 1/2 pulgada debajo de una regla sin nivelar de 10 pies. Una especificación de proyecto en Colorado también utilizó este requisito. Tipping y Smith²² usó 100 perfiles de medición individuales, cada uno de 100 pies (30,5 m) de largo, para analizar la relación entre planitud y espacio debajo de una regla. Informaron valores correspondiente correspondiente FF que oscilan entre 17,4 y 27,7. Esto también se informa en el comentario de ACI117-10(15).

Malish et al.¹⁶ informaron valores de planitud de superficies cepilladas ligeras, medianas y pesadas que oscilan entre 14 y 22. Sorprendentemente, la planitud de la superficie del cepillo del panel de prueba midió 31. Este valor alto probablemente se deba a la aplicación manual con flotador y llana antes del barrido. Si bien el panel de prueba fue para concreto sin aire incorporado, es poco probable que este procedimiento de acabado se use en concreto con aire incorporado. Además, el acabado manual es caro.

Como se esperaba, y se muestra con el panel de prueba, la planitud para el flotador principal fue de 19 y la flotación de la máquina fue de 23. ACI 117 y ACI 302.1R indican que la planitud de un flotador principal será de aproximadamente 20. Para un acabado de flotador principal y escoba, la planitud la expectativa debe ser alrededor de 20 o menos. Esto también coincide con los resultados de la prueba de Malisch et al.¹⁶

¿Es necesario un requisito de planitud para una superficie cepillada? Ese es el enfoque de ACI 301 y AIA MasterSpec y ciertamente merece más discusión. Sin embargo, si se considera necesario un requisito de planitud, los autores prefieren usar números F debido al enfoque de procedimiento de la norma ASTM E1155. Si bien existe un enfoque de procedimiento de medición de regla en ACI 117, no parece estar en uso. Los autores recomendarían SOV para planitud entre 15 y 20, pero ciertamente no más de 20.

Procedimiento de acabado—El sorprendente procedimiento de acabado fue la llana manual y la llana que se usaron antes de barrer el concreto sin aire incluido para el panel de prueba y la planitud resultante de 31. La sección 5.5.4.3 de ACI PRC-330-21 incluye una declaración interesante de que la flotación mecánica “puede ayudar a producir un acabado final más consistente”, pero también señala que: “Normalmente, la flotación mecánica no se recomienda para pavimentos exteriores...”.

Los contratistas de ASCC dicen que, con frecuencia, no pueden lograr que el propietario o el arquitecto acepten la apariencia del acabado de escoba a menos que utilicen una flotadora eléctrica o usen un fresno para eliminar las crestas dejadas por la bullfloating. Esto es especialmente difícil cuando se usa una muestra de referencia de escoba cuadrada de 2 pies como comparación porque este tamaño de muestra no es representativo de la dificultad de barrer una escoba de 15,000 pies² (1390 m²) colocación.

Malish et al.¹⁶ también analice los problemas asociados con las referencias de muestras pequeñas frente a las expectativas de un acabado de escoba en grandes ubicaciones de concreto. Los autores recomiendan que el barrido tanto para aire incorporado como para aire libre concreto sea bullfloat y escoba, ambos logrados antes de que aparezca agua de sangrado en la superficie. Para 15,000 pies² colocación, esto permite completar el acabado sin tener que esperar y volver a pisar el concreto para realizar más trabajo. Finalmente, la durabilidad de la superficie superior debe regir el acabado requerido, no la apariencia.

Acabado en Remolino

Planicidad—Excepto por el espacio de 1/2 pulgada debajo de una regla de 10 pies utilizada por Chrest et al.,² todos los demás documentos no mencionan el requisito de planitud para un acabado en espiral. La especificación del proyecto para el cual se creó el panel de prueba requería una planitud local mínima de 25. El contratista no creía que esto fuera a ser posible y construyó un panel de prueba para determinar qué era factible. Como ocurre a menudo, la

planitud de 22 medida para el panel de prueba estaba en el extremo superior de la medida para las seis áreas de prueba del proyecto, con un rango de 11 a 23.

¿Es necesario un requisito de planitud para una superficie de remolino? Es probable que exista una gran cantidad de acabados en espiral que nunca se midieron para determinar su planitud. Sin embargo, si se considera necesario un requisito de planitud, los autores prefieren usar números F debido al enfoque de procedimiento de la norma ASTM E1155. Los autores recomendarían un valor de planicidad general especificado entre 15 y 20, pero ciertamente no más de 20.

Procedimiento de acabado—Hay diferentes formas de producir un acabado en espiral. Sin embargo, la aplicación del acabado debe esperar hasta que el concreto esté lo suficientemente rígido para colocar un remolino que mantenga su forma. Por lo tanto, no vemos que se proporcione un remolino inmediatamente después de bullfloat, sino que esperamos hasta que el concreto se endurezca. Como se hizo en el panel de prueba, anticipamos una flotación de la máquina antes de aplicar manualmente un acabado de remolino.

Recomendaciones

Los autores creen que los comités individuales de ACI no pueden lograr un consenso, sino que se requiere la coordinación entre los comités ACI 302, 330 y 362, y los comités conjuntos ACI-ASCC 117, Tolerancias, y 310, Concreto decorativo. Recomendamos que los representantes de cada comité tengan una reunión por separado en una convención de ACI o en un taller patrocinado por ASCC para analizar los requisitos de planicidad.

Presentamos estas cinco preguntas para la discusión:

1. ¿Los acabados texturizados necesitan un requisito de planitud? Esto incluye no solo los acabados de escoba y remolino, sino también los acabados arquitectónicos, como el grabado en relieve, la impresión, el estarcido y el estampado.
2. Si es necesario un requisito de planitud, ¿qué procedimientos y criterios son apropiados?

3. ¿Cómo deben llevarse a cabo los procedimientos de acabado para concreto exterior con y sin aire incorporado con superficies texturizadas?

4. El acto de equilibrio: ¿cuál es el número uno: apariencia, durabilidad o planitud?

5. ¿Cómo afecta la necesidad de drenaje al requisito de planitud?

¿Qué pendientes de drenaje son compatibles con qué valores de planitud?

Créditos del proyecto

The Conco Companies, Concrete Contractor, y Hector Campos-Diaz, ATLAS, Testing Agency.

Referencias

1. Comité ACI 362, “Guía para el Diseño y Construcción de Estructuras Duraderas de Estacionamiento de Concreto (ACI 362.1R-12)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2012, 24 págs.
2. Cofre, AP; Smith, MS; Bhuyan, S.; Monahan, RD; y Iqbal, M., Estructuras de estacionamiento, Volumen I: Planificación, Diseño, Construcción, Reparación de mantenimiento, tercera edición, Springer Science+Business Media, 2012, 856 págs.
3. Comité ACI 330, “Especificación para concreto no reforzado Estacionamientos y pavimentación del sitio (ACI 330.1-14)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 8 págs.
4. Comité ACI 302, “Guía para pisos y losas de concreto Construction (ACI 302.1R-15)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2015, 76 págs.
5. Collins, CT; Panarese, WC; y Bradley, BJ, “Concreto Guía del finalizador”, EB122, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2006, 74 págs.
6. Comité ACI 117, “Especificación de tolerancias para hormigón Construction and Materials (ACI 117-10) and Commentary (Reaprobado en 2015)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 págs.
7. ASTM E1155-20, “Método de prueba estándar para determinar FFPiso Planitud y FLFloor Levelness Numbers”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, 8 págs.
8. Comité conjunto ACI-ASCC 310, “Guía para el concreto decorativo (ACI 310R-19)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 48 págs.
9. Comité ACI 302, “Guía para la construcción de losas y pisos de concreto (ACI 302.1R-04)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2004, 77 págs.
10. Comité ACI 330, “Especificación para concreto no reforzado Estacionamientos (ACI 330.1-03)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, 6 págs.
11. Comité ACI 330, “Especificación estándar para concreto simple Estacionamientos (ACI 330.1-94)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1994, 7 págs.
12. Comité ACI 330, “Guía para el diseño y construcción de Pavimentación de sitios de concreto para instalaciones industriales y de camiones (ACI 330.2R-17)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2017, 67 págs.
13. Comité ACI 330, “Estacionamientos comerciales de concreto y Diseño y construcción de pavimentación del sitio: guía (ACI PRC-330-21)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2021, 48 págs.
14. Comité E703 de ACI, “Concrete Craftsman Series: Slabs-on-Ground (CCS-1(10))”, tercera edición, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2009, 68 págs.
15. Especificaciones maestras®, Instituto Americano de Arquitectos (AIA), Washington DC.
16. Malisch, WR; Suprendente, BA; y Salzano, F., “Especificando Superficies exteriores de concreto barridas”, El especificador de construcción, marzo de 2015, 7 págs., <https://www.constructionspecifier.com/specifying-broomed-exterior-concrete-surfaces/>.
17. Comité ACI 301, “Especificaciones para la construcción de hormigón (ACI 301-20)”, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 págs.
18. ASTM C150/C150M-21, “Especificación estándar para Portland Cement”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 9 págs.
19. ASTM C989/C989M-18a, “Especificación estándar para escoria Cement for Use in Concrete and Mortars”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 7 págs.
20. ASTM C33/C33M-18, “Especificación estándar para hormigón Agregados”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, 8 págs.
21. ASTM C1602/C1602M-18, “Especificación estándar para mezclar Agua utilizada en la producción de hormigón de cemento hidráulico”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 5 págs.
22. Tipping, E., y Smith, R., “A Comparison of Floor Tolerance Métodos de medición: números F, regla de 305 cm (10 pies) e índice de ondulación. Simposio de construcción de hormigón Ward R. Malisch, SP-338, B. Suprenant y O. Antommattei, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, págs. 29-35.



Lingfeng (Leo) Zhang, es miembro de la ACI, es Gerente de Construcción Virtual en The Conco Companies, San Francisco, CA. Es miembro del Comité 131 de ACI, Modelado de información de construcción de estructuras de hormigón, y del Comité 117 conjunto de ACI-ASCC, Tolerancias. Zhang recibió su licenciatura en física de materiales de la Universidad Tecnológica de Dalian, Dalian, China, y su maestría en administración de la construcción de la Universidad de Florida, Gainesville, FL, Estados Unidos.



James Klinger, es miembro de la ACI, Especialista en Construcción de Concreto de la Sociedad Estadounidense de Contratistas de Concreto (ASCC), St. Louis, MO, EE. UU. Es miembro de los Comités 134 de ACI, Construibilidad de hormigón y 318, Código de construcción de hormigón estructural; Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias; y el Subcomité 318-A de ACI, General, Concreto y Construcción. Klinger recibió su maestría en ingeniería estructural de la Universidad de Maryland, College Park, MD, EE. UU.



Bruce A. Suprenant, FACI, es el Director Técnico de ASCC, St. Louis, MO. Es miembro de los Comités ACI 134, Constructibilidad de Concreto, y 302, Construcción de Pisos de Concreto; y Comités Conjuntos ACI-ASCC 117, Tolerancias, y 310, Concreto Decorativo. Sus honores incluyen la Medalla Arthur R. Anderson de ACI 2021, el Premio de Construcción ACI 2020, el Premio de Certificación ACI 2013, el Premio ACI Roger H. Corbetta Concrete Constructor y el Premio de Construcción ACI 2010.

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

Título: Números F y texturizados Acabados de superficies de concreto



Traductor:
Ing Paulina Martínez



Revisor Técnico: Ing. Santiago Velez Guayasamín MSc DIC