

Visual Inspection of Architectural Concrete Surface Appearance

Commentary on current concrete industry practice

by James E. Klinger, Ron L. Kozikowski, Tim I. Manherz, Anthony R. DeCarlo Jr., and Bruce A. Suprenant

It's 5 p.m. on a workday. Quitting time. Construction workers are packing their gear and heading to their trucks for the drive home—except for the concrete crew. This crew is positioned around the site, observing the surfaces of recently erected tilt-up panels. Some panels have features—lines correlating with the saw cuts in the slab that served as the casting surface for the panels—that are visible for only 1 hour a day, from 4 to 5 p.m. Although the crew patched the panel surfaces and found gaps beneath a straightedge of less than 1/32 in. (0.8 mm) across the saw-cut lines, these features are still visible.

From a construction contract administration perspective, are the lines imperfections? Concrete industry criteria for this situation aren't clear. If these features are considered imperfections, are they due to poor workmanship? Even if each line was repatched with a zero gap beneath a straightedge, would it still be visible? And why are these lines visible for only 1 hour in the afternoon?

Glancing Light

Glancing light is commonly used to describe a critical lighting condition that exists when light hits a surface at an

acute or glancing angle (Fig. 1) and cast shadows that highlight surface imperfections. This critical lighting condition accentuates joints and variations in sheen, texture, surface uniformity, or other surface irregularities.

Light reflected from a surface is diffuse—it's scattered in many different directions—so a viewer may not perceive small imperfections when the angle of viewing to the surface is acute or obtuse relative. As the angle of viewing becomes more acute or critical, however, the amount of nonscattered light reflected to the eye is increased, and surface imperfections become more visible.¹ Surfaces that are very smooth (nontextured) or glossy will reflect more light rather than scatter it. The more the light is reflected, the more visible the surface imperfections.

Critical versus Noncritical Lighting

It's important to recognize what the terms “critical” and “noncritical” lighting mean. Critical lighting occurs when sunlight or another light source strikes a wall surface at or less than 15 degrees—the critical angle.^{1,2} Visual inspection of wall or ceiling surfaces during critical lighting (Fig. 2) will cast a shadow for any irregularity that is 1/32 in. or greater.²

Noncritical lighting occurs when the light strikes the surface at an angle greater than 15 degrees. If the specifications refer to viewing the surface when it is not critical lighting, or noncritical lighting, it indicates that this light condition should not be used to accentuate surface irregularities. Critical lighting exists for only a noticeably brief time, sometimes just a few minutes a day.

Although there are many sun angle

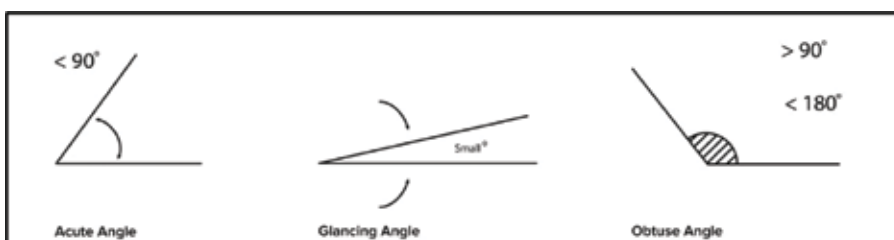


Fig. 1: Examples of acute, glancing, and obtuse angles. A glancing light angle is typically considered less than 15 degrees and can highlight surface irregularities of 1/32 in. (0.8 mm) or greater^{1,2}

calculators (SunCalc[®],³ Omni Calculator,⁴ and NOAA Solar Calculator⁵), there are more practical methods to determine when to visually inspect the surface. One recommendation is to visually inspect concrete surfaces between 10 a.m. and 2 p.m. when the daylight (sunlight) angle is greater than 15 degrees.¹ It should be noted, however, that critical lighting can also be an interior condition when windows or openings extend to walls or ceilings (Fig. 3).⁶ In these cases, critical lighting may arise near dawn or dusk.

Artificial Lighting

Artificial lighting, which is any light that is not naturally occurring, such as construction or final project lighting, can also create glancing light. We can't find any recommendations for artificial lighting conditions to be used for visual inspection of interior surfaces during construction. However, placing inspection lighting at the same location as the final project lighting may highlight surface imperfections that could precipitate rejection when the final project lighting is in place.

Not Just an Exterior, Vertical Issue

Figure 4 illustrates the effect of glancing light on the interior slab of a parking garage. At 5:30 p.m., the glancing light through a wall opening highlights a washboard surface that is not as noticeable at 6 p.m. The visual washboard surface appearance diminishes with time when the glancing light ends.

Not Just a Concrete Issue

The effect of critical lighting on appearance based on visual inspection is an issue with other industries, including:

- Painted surfaces^{1,8,9};
- Drywall¹⁰;
- Exterior insulation and finish system (EIFS)²;
- Stucco/plaster^{2,11};
- Metal panels¹²;
- Masonry¹³; and
- Cast stone.^{14,15}

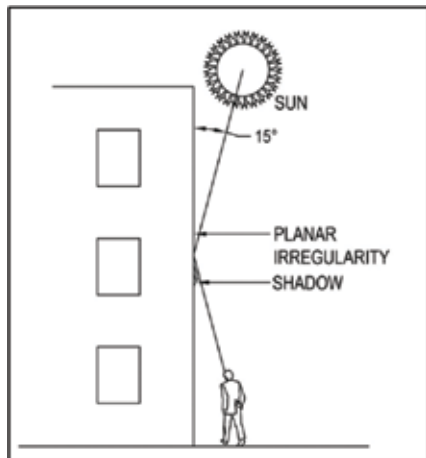


Fig. 2: During times of critical lighting, shadows cast by irregularities of 1/32 in. or greater can be seen. It is recommended that visual inspection be performed during noncritical lighting^{1,2} (from Reference 2)

A review of the criteria for visual inspection of these surfaces illustrates the same confusion that exists in the concrete industry.

Basics of Visual Inspection

Visual inspection is the oldest form of quality control. While we are interested in visual inspection for surface

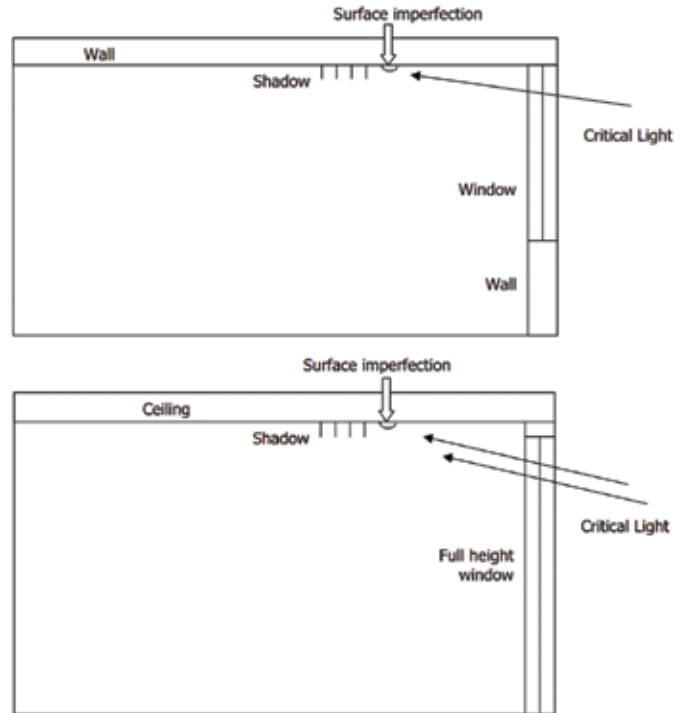


Fig. 3: Critical lighting can occur indoors when windows or openings extend to intersecting ceilings or walls (from Reference 6)

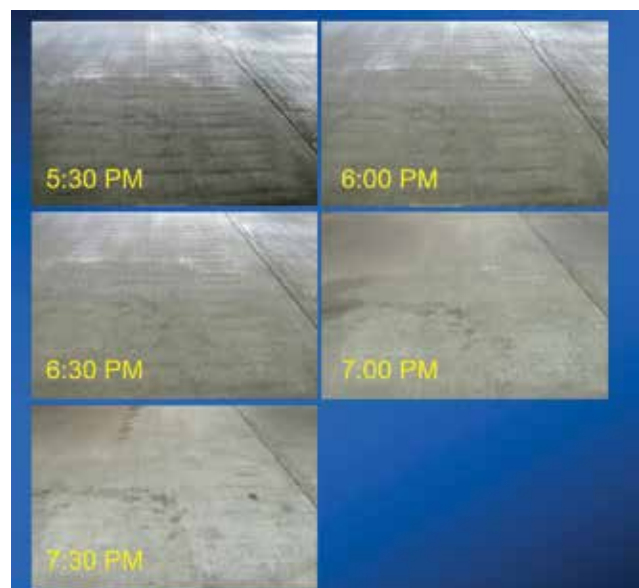


Fig. 4: Effect of exterior glancing light through wall openings in a parking garage. At 5:30 p.m., there is a washboard surface appearance that diminishes with time

appearance, it has also been used as a nondestructive testing (NDT) method to observe physical defects. While visual inspection is a method that offers numerous benefits, it's not without its limitations. One of the primary constraints is its dependence on the subjective judgment of inspectors, leading to potential inconsistencies in results.

Generally, the concrete industry uses comparative visual inspection: comparing an item against a reference or standard, often side-by-side, to spot any deviations or defects. However, when persons performing visual inspection are unable to remain objective and begin to introduce subjectivity (opinions and biases), the process is flawed.¹⁶ It may become an issue when the appearance expectations are not clearly expressed in the specifications. When the inspector visually inspects a mockup or finished product, it's important to consider whether the evaluation is based on the workmanship according to the project specifications or the inspector's expectations of the mockup or completed project.

The "I know it when I see it" visual inspection approach creates difficulties. This colloquial expression is typically remembered as used by Arthur Conan Doyle and Supreme Court Justice Potter Stewart. In Doyle's *The Hound of the Baskervilles*, Sherlock Holmes comments on the quality of a portrait by saying: "I know what is good when I see it." Justice Stewart famously used the quote to describe his threshold test for obscenity. When this approach is used in

visual inspection for construction, it creates great challenges for the contractor who bid on the project and provided a mockup based on project specifications.

See¹⁶ provides a review of the literature on visual inspection, including the results of numerous inspection studies conducted over 6 decades on the factors that impact inspection performance as shown in Table 1. The Federal Highway Administration (FHWA) studied the reliability of visual inspection on highway bridges providing insight into the physical, environmental, and management factors affecting visual inspection.^{17,18} The following summaries of the number of defects, standards for comparison, and factors for perfect inspection are edited versions from See.¹⁶

Number of defects

Megaw¹⁹ observed that, regardless of the total number of potential defects, inspectors appear to search for a subset of about five. He points out that, without feedback, inspectors will not necessarily choose the most appropriate subset of defects. Along these lines, Rao et al.²⁰ concluded that six defects may represent the practical maximum for an inspector. In accordance with research findings regarding defect type, Gallwey²¹ recommended searching for one type of defect everywhere on the product, then moving to the second defect type, rather than trying to search for all defect types concurrently in all areas of the product.

Standards for comparison

The way defects are defined can impact inspection performance. Defect definition includes both the literal definition of the defect (for example, a 2 in. [50 mm] long scratch) and any standards that may be used to define it in relation to good products.

First, with respect to literal defect definition, Jamieson²² indicated that the absence of a clear specification of what constitutes a defect contributes to poor inspection performance. Specifically, the lack of clear definitions of defects prompted inspectors to form personal criteria, which led to variability in work quality during inspection. Such subjective criteria appear to drift over time as well, resulting in products that would have been rejected at one time but are accepted at another.²³ This phenomenon can be observed both between and within inspectors. Barring clear definitions, individual inspectors may revise their own work if, unknown to them, it is returned.

Second, the use of standards against which to compare a given item is generally beneficial. Using standards changes an absolute judgment task into a comparative judgment task, eliminating the need to rely on long-term memory of the standard. Therefore, inspection tasks that make use of standards for comparison tend to be associated with better defect detection.²² However, the standards themselves must be simple and easy to interpret. Gallwey and Drury²⁴ showed that inspection performance was worse when different standards had to be used for different areas of the product as opposed to

Table 1:
Factors that impact inspection performance (from Reference 16)

Task	Individual
<ul style="list-style-type: none"> Defect rate Defect type Defect salience Defect location Complexity Standards Pacing Multiple inspections Overlays Automation 	<ul style="list-style-type: none"> Gender Age Visual acuity Intelligence Aptitude Personality Time in job Experience Visual lobe Scanning strategy Biases
Environmental	Organizational
<ul style="list-style-type: none"> Lighting Noise Temperature Shift duration Time of day Vigilance Workplace design 	<ul style="list-style-type: none"> Management support Training Retraining Instructions Feedforward information Feedback Incentives Job rotation
Social	
<ul style="list-style-type: none"> Pressure Consultation Isolation Communication 	

the condition in which the same standards for acceptance/rejection could be applied to any defect.

Perfect inspection

Individual factors refer to physical, mental, and personality characteristics of the inspector such as age, intelligence, and extraversion. Individual factors have been extensively investigated to identify the traits of the “perfect” inspector and to develop personnel selection techniques for inspection. In fact, perhaps the most consistent finding in inspection is the existence of large differences both between and within inspectors, in the way they perform the task and the overall level of accuracy they achieve.²⁵

ASTM standards

ASTM International has standards for visual inspection of asbestos abatement projects, integrity of seals for flexible packaging, membrane switches, fabrics for inflatable restraints, clear transparent liquids, pharmaceutical equipment, steel castings, and diffusely illuminated opaque materials. These standards for visual inspection typically include requirements for:

- Inspector training;
- Lighting conditions;
- Viewing angle; and
- Viewing distance.

Three ASTM standards of interest include:

- ASTM E284-22, “Standard Terminology of Appearance”²⁶;
- ASTM E1808-96(2021), “Standard Guide for Designing and Conducting Visual Experiments”²⁷; and
- ASTM E1499-16(2023), “Standard Guide for Selection, Evaluation, and Training of Observers.”²⁸

ASTM E284 defines terms used in the description of appearance, including but not limited to color, gloss, opacity, scattering, texture, and visibility of both materials (ordinary, fluorescent, and retroreflective) and light sources (including visual display units). The definition of terms has been made to achieve greater accuracy, brevity, clarity, precision, and internal consistency and to draw distinctions that are useful in the practical measurement and specification of appearance.

In addition, ASTM E284 defines the viewing conditions under which a visual observation is made, including: a) the angular subtense of the specimen at the eye; b) geometric relationship of source, specimen, and eye; c) photometric and spectral character of the source; d) photometric and spectral character of the field of view surrounding the specimen; and e) state of adaptation of the eye.

ASTM E1808, Section 5, provides recommendations for establishing viewing conditions, which include: a) light source; b) viewing geometry; c) surround and ambient field; and d) observers. Concrete industry recommendations for visual inspection would benefit greatly by using ASTM E1808 to establish viewing conditions.

ASTM E1499 provides guidance on the selection, evaluation, and training of observers that should be useful to

all experimenters designing or using visual test methods to provide direct results in terms of the observation of appearance properties. The concrete industry is silent on the selection, evaluation, and training of observers or observer qualifications necessary to perform adequate visual inspection.

Concrete Industry Recommendations for Visual Inspection of Appearance

ACI 311.4R-05, “Guide for Concrete Inspection,”²⁹ provides “inspection for damage and visual appearance” for precast erection. Although the document provides no further specific advice on this task, it does comment on inspector training and the role of the architect/engineer (A/E) to provide additional requirements for speciality work such as architectural concrete:

“All personnel performing concrete inspection and testing work should be certified and demonstrate a knowledge and ability to perform the necessary inspection and testing procedures equivalent to the minimum guidelines set forth for certification by ACI for the appropriate category listed.” (Section 3.6)

“*Specialty work*—Some construction projects may require items of inspection not listed in Table 3.1 or Appendix I. Such items can be added by the A/E to ensure adequate conformance to quality requirements. For this reason, the inspection items listed are intended to cover only those construction activities and materials most commonly encountered in concrete construction. Inspection items for specialty work, such as pressure grouting, shotcrete, high-performance concrete, self-consolidating concrete, two-course floors, super-flat floors, terrazzo, stucco, masonry, cast stone, tile, architectural concrete, painting, preplaced-aggregate concrete, tilt-up construction, underwater construction, vacuum concrete, and slipform construction are intentionally omitted from Table 3.1 and Appendix I. It is intended that the A/E will develop inspection criteria for specialty work that is appropriate to the specific needs of these activities.” (Section 3.7.4.1)

ACI documents that include recommendations or requirements for visual inspection of cast-in-place, precast, and tilt-up concrete are:

- ACI 303.1-97, “Standard Specification for Cast-in-Place Architectural Concrete” (Withdrawn)³⁰;
- ACI 303R-12, “Guide to Cast-in-Place Architectural Concrete Practice”³¹;
- ACI 301-20, “Specifications for Concrete Construction”³²; and
- ACI 347.3R-13(21), “Guide to Formed Concrete Surfaces.”³³

ACI 303.1-97, Section 5.3.9.1, provides final acceptance requirements for architectural concrete:

“Upon completion of architectural concrete, final acceptance is based upon the matching of the architectural cast-in-place concrete with the accepted

Field Mockups when viewed at the distance of 20 ft (6 m) in daylight.”

ACI 303R-12 provides visual inspection recommendations for general and final acceptance and viewing the preconstruction mockup:

- “*General acceptance criteria*—Architecturally acceptable concrete surfaces should be aesthetically compatible with minimal color and texture variations and surface defects when viewed at a distance of approximately 20 ft (6 m) or more, as agreed upon by the architect, owner, and contractor, or as otherwise specified.” (Section 3.1.1)
- “*Preconstruction mockup*—The preconstruction mockup (Fig. 3.5.4) is a full-scale sample of architectural concrete constructed on-site by the contractor with proposed equipment, materials, and construction procedures. The contractor should obtain written approval of the finished product from the specifying agency and the owner after viewing at the agreed-upon distance before constructing the main structure.” (Section 3.5.4)
- “*Final acceptance*—If the procedures determined by the approved on-site mockup are continued throughout the project, final acceptance at the agreed-upon distance should not be a problem. Due to the inevitable nonuniformity of construction practices, some repairs will be required. Their final acceptability will depend on the contractor’s blending technique and skill. Periodic review by the inspector and the architect/engineer to allow partial acceptance creates goodwill and confidence with all concerned. After final acceptance, the inspector’s records should be completed and filed. If later additions are made or adjoining buildings constructed, these records will be helpful for construction.” (Section 3.5.6.4)

ACI 301-20 provides visual requirements for acceptance of architectural concrete and architectural tilt-up panels, repairs on precast structural concrete, and surface color of thin bricks used for architectural precast concrete:

- *Periodic acceptance*—“Architect/Engineer will periodically observe completed portions of architectural concrete for conformance with accepted field mockup. The frequency of periodic acceptance and acceptance criteria will be established at preconstruction conference.” (Section 6.1.4.5(a))
- “Architectural concrete declared unacceptable during periodic observation shall be repaired or replaced. Submit a revised method of producing acceptable concrete before proceeding with additional architectural concrete construction.” (Section 6.1.4.5(b))
- “*Final acceptance of architectural concrete*—Upon completion of architectural concrete, including surface repairs and patching of tie holes, final acceptance is based on matching the architectural cast-in place concrete with accepted field mockup when viewed at 20 ft in daylight. Defective Work not conforming to Contract Documents, including repair areas not accepted, shall be removed and replaced.” (Section 6.3.1.2)

- *Smooth Panel Finish-3 Architectural (SPF-3)*—“Upon completion of surface repairs and patching, for final acceptance, panels shall match the appearance of the accepted mockup panel when viewed from a distance of 10 ft in daylight.” (Section 12.3.9(a)(d))
 - *Repairs*—“Mix patching materials and repair members so cured patches blend with color, texture, and uniformity of adjacent exposed surfaces and show no apparent line of demarcation between original and repaired work when viewed in daylight from 20 ft.” (Section 13.3.5(c))
 - “*Surface coloring*—Brick specified with surface coloring, other than flashed or sand-finished brick, shall withstand 50 cycles of freezing and thawing in accordance with ASTM C67 with no observable difference in applied finish if viewed in daylight from 20 ft.” (Section 14.2.6.2(j))
- ACI 347.3R-13(21), Section 7.2, provides the following recommendation for visually evaluating the overall impression:

“Make the evaluation under normal lighting conditions from a minimum distance of 20 ft (6 m) or greater, that is perpendicular to the concrete surface to be viewed. This viewing distance allows one to evaluate that the overall appearance of the structure has been achieved.

Sunlight striking a concrete surface at an acute angle will amplify the appearance of irregularities, so evaluations under these conditions should be avoided. The appropriate viewing distance is equal to the distance that allows the entire building, the building’s essential parts, or both, to be viewed in their entirety. The individual design features should be recognizable. For architectural concrete, refer to ACI 303R-12.”

The Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) and the Tilt-Up Concrete Association (TCA) recommendations or requirements for visual inspection of precast and tilt-up concrete are included in:

- PCI MNL-117-13, “Manual for Quality Control for Plants and Production of Architectural Precast Concrete Products”³⁴;
 - PCI DN-22-11, “Designer’s Notebook: Acceptability of Appearance”³⁵; and
 - TCA Guide Specification for Site-Cast Tilt-Up Construction.³⁶
- PCI MNL-117-13 provides the following recommendations on acceptance:
- *Curing and Finishing Areas*—“Lighting is extremely important in the finishing area and at the point where final inspection is made before transport to the storage area. This is where comparison to the approved samples is made for color and texture. Where possible, indoor lighting should compare to daylight as closely as possible.” (Commentary Section 2.2.6)
 - *Acceptability of Appearance*—“The finished face surface shall have no obvious imperfections other than minimal color and texture variations from the approved samples or evidence of repairs when viewed in good typical daylight

illumination with the unaided naked eye consistent with the viewing distance on the structure, but not less than 20 ft (6 m). Appearance of the surface shall not be evaluated when light is illuminating the surface from an extreme angle, as this tends to accentuate minor surface irregularities.” (Section 2.10)

PCI DN-22-11 recommends that one person have final authority for the acceptability of color, finish, and texture, and that the contract documents clearly identify the accepting authority. The document also provides recommendations on acceptability of appearance and repairs and cracks viewed at a distance of 20 ft or greater:

- Acceptability of appearance—“Determining acceptable uniformity of color, finish, and texture is by visual examination, and is generally a matter of subjective, individual judgment and interpretation. Acceptable color and texture variations, surface blemishes, and uniformity should be determined at the time the sample, mockup, or initial production units are approved. Accordingly, it is beyond the scope of this publication to establish precise or definitive rules for product acceptability on the basis of appearance. However, a suitable criteria for acceptability requires that the finished concrete surface should have a pleasing appearance with minimal color and texture variations from the approved samples. The finished surface on the face should show no readily visible imperfections other than minimal color and texture variations from the approved samples or evidence of repairs when viewed in typical daylight illumination with the unaided eye consistent with the viewing distance of the structure but not less than a 20 ft (6 m) or greater viewing distance. Appearance of the surface also should not be evaluated when light is illuminating the surface from an angle, as this tends to accentuate minor surface irregularities due to shadowing.”
- Repairs visible at 20 ft (6 m) or greater viewing distance—“A certain amount of product repair is to be expected as a routine procedure. Repair methods should ensure that the repaired area will conform to the balance of the work with respect to applicable requirements for appearance, structural adequacy, serviceability, and durability. Slight color variations may occur between the repaired area and the original surface due to the different age and curing conditions of the repair. The repair will generally become less noticeable over time (at least one month) with exposure to the environment and should blend into adjacent surfaces so it becomes less noticeable. Excessive variation in color and texture of repairs from adjacent surfaces may be cause for rejection until the variation is minimized.” (Section 11)
- Cracks visible at 20 ft (6 m) or greater viewing distance—“The acceptability of cracks should be determined with respect to actual service condition requirements, structural significance, and aesthetics. Every effort should be made to promptly identify the cause of any cracking and to

document the pattern, particularly when several units display similar cracking. Such cracking is often the result of a single design, manufacturing, or handling problem, which can then be rectified to prevent any recurrence. If crack repair is required for the restoration of structural integrity, cracks may be filled, or pressure injected with a low-viscosity epoxy. The acceptability of the crack repairs should be governed by the importance and function of the panel. The decision regarding acceptability must be made on an engineering basis as well as on visual appearance.” (Section 13)

TCA Guide Specification, Section 034700, Site-Cast Tilt-Up Concrete states:

“3.7 PANEL FINISH

A. Finish exposed surfaces of panels as indicated on the Drawings including both the front and back of the panels as well as any exposed edges as defined below. Visible surfaces of the panels, when in place shall be free from surface defects as defined below.

B. Grade A - Architectural: Projects designed for the circulation of people within a distance of 10 feet to 25 feet.

1. Panel surfaces shall be free of voids, holes, pockets, and other surface deformations greater than 1/8 inch.
2. Surfaces of panels shall not project reinforcing patterns, floor joints or other projections or voids from the casting surface.
3. Cracks are not permissible in excess of 1/32 inch.
4. Surface repairs shall be performed in such a way as to prevent the projection of repair strokes through the intended finish.
5. Holes shall be filled with patching material to present a smooth surface ready for painting unless the designed finish is to result in exposed aggregates whereby the patching material shall match the intended color and texture.”

Advertise

ci

For more information, contact

Dan Kaste, Account Executive

Email: dan.kaste@wearemci.com

MCI USA: +1.410.584.8355

mci USA

Comments on Industry Recommendations/ Requirements

Formed and unformed surfaces can be specified as architectural concrete, which includes exterior and interior walls, floors, and ceilings. The visual inspection criteria—viewing distance and lighting—appear to apply only to exterior walls. It is unclear how to interpret a 20 ft viewing distance for a floor or ceiling and what daylight to use for an interior visual inspection. While ACI 301-20 requires a 20 ft viewing distance for cast-in-place architectural and precast concrete, it strangely requires a 10 ft (3 m) viewing distance for tilt-up panels.

The differences and discrepancies in visual inspection criteria shown in this article need to be evaluated, discussed, and revised in the next ACI 301 document. Other comments on industry recommendations or requirements for visual inspection of architectural concrete are provided.

Acceptability authority

Only Reference 35 discusses the problematic issue of visual inspection by different inspectors from the same company or inspectors from multiple companies such as the architect, engineer, construction manager, testing agency, or owner. PCI recommends that only one person have the final authority for acceptance, and that contract documents clearly identify that accepting authority. For cast-in-place concrete, one architect could approve the mockup, but a different architect might provide periodic approval, and then a third architect could give final approval. On some projects, the architect approves the work, only to find that the owner rejects the final work.

For precast, there are three approval stages: a) initial product at the plant; b) product as delivered; and then c) final product as erected. Interjecting multiple individuals or multiple organizations for approval by visual inspection leads to very real concerns about repeatability and reproducibility. Consider the “I know it when I see it” inspection approach by three different inspectors. This is fraught with considerable confusion, especially when the specifications don’t adequately convey the architectural expectations, thus leading to each inspector’s opinion and bias. This clearly needs more emphasis and discussion within the concrete industry.

Periodic inspection

ACI 301-20 allows for periodic inspection but unfortunately leaves the inspection intervals to be determined at the preconstruction meeting. ACI 301-20 does not provide for periodic inspection for architectural precast or architectural tilt-up. Periodic inspection, while in ACI 301-20, is often not performed, leaving the contractor’s fate to the final inspection. Regarding periodic acceptance, ACI 301-20, Section 6.1.4.5(a), slips in that “acceptance criteria will be established at preconstruction conference.” This is not appropriate, as the acceptance criteria should be clearly stated in the project specifications so the contractor can establish the bid.

Acceptance criteria established at the preconstruction conference will likely lead to the contractor’s request for a change order.

Viewing eye

The terms “naked” and “unaided” eye are used to describe visual inspection. A Merriam-Webster Dictionary definition says these terms are the same and mean “something that can be seen without any instrument that changes the apparent size or distance of an object or otherwise alters visual powers.” Some specifications allow visual inspection as corrected by eyeglasses or contacts to a 20/20 vision. Is vision correction acceptable?

Viewing distance

A viewing distance of 20 ft for appearance is recommended. That distance is also considered appropriate for viewing repairs and cracks. Other viewing distances include 10 ft and an agreed-upon distance. There are no recommendations concerning how the viewing distance is applied to floors, ceilings, or interior walls with limited space for viewing.

Sunlight angle

The recommendation was not to view the appearance with the sunlight at an extreme angle as it would accentuate the surface irregularities. None of the recommendations or requirements, however, provided information on what would be “extreme.” Some recommended that viewing should not occur when the sunlight is at an acute angle, which is any angle less than 90 degrees. Because critical lighting is defined as a glancing angle of 15 degrees, the viewing should only take place at that time. There is no guidance on calculating the viewing angle. Reference 1 recommends viewing surfaces from 10 a.m. to 2 p.m. as those times would avoid any glancing angles.

Viewing angle

The viewing angle should be perpendicular (90 degrees) to a concrete wall, and no information is provided for viewing floors or ceilings. If viewing is perpendicular to a wall, then the viewer’s height determines what is observed. That recommendation seems to preclude looking up or down the wall, which limits the amount of observable area.

Illumination

Recommendations for illumination included daylight, sunlight, normal daylight, typical daylight, direct daylight, good typical daylight, typical lighting conditions, and indoor lighting that is comparable to outdoor lighting. Reference 37 indicates the illumination of a cloudy sky is about 500 footcandles, while for a clear sky it could be as much as 1500 footcandles. ACI PRC-228.4-23³⁸ indicates that the color temperature for visual inspection of physical defects should be 500 to 6500 K to simulate daylight. Illumination conditions for visual inspection during construction must be considered.

Age

Age is used as an indication of weathering and color changes due to drying and fading with time. This issue is of concern for viewing the mockup, periodic and final acceptance, and repairs. While PCI DN-22-11 recommended waiting at least 1 month to view repairs, there is no consistency with respect to the viewing age, an issue that plagues every project.

Inspector qualifications

Even though ACI 311.4R-05 discusses qualifications and certification of inspectors, there is no concrete industry document that addresses this issue for visual inspection of architectural concrete.

The Tilt-Up Conundrum—Conflict or Compatible

Table 2 provides a comparison of TCA Specification³⁶ and ACI 301-20 requirements. The TCA Specification cites ACI 301. Thus, it is interesting to evaluate whether the two specifications are compatible or in conflict. If the specifications contain a conflict clause that requires the most stringent apply, it would be interesting to see how the construction contract administrator would handle this.

Recommendations

The authors encourage ACI Committee 301, Specifications for Concrete Construction, to establish a task group to review and revise criteria for visual inspection of the appearance of formed and unformed concrete surfaces. Representatives of the American Society of Concrete Contractors (ASCC), PCI, and TCA should meet with this task group to assist in establishing criteria that are clear, concise, and stated in specification language that can't be misunderstood. An expert in illumination would also be of benefit to this task group.

One strategy, as shown in Table 3, is to summarize the visual inspection criteria for each architectural concrete item such as cast-in-place formed and

Table 2:
Comparison of TCA and ACI 301-20 specifications for architectural tilt-up panels

Formed surface	TCA Specification Architectural Panel Finish Grade A	ACI 301-20 Architectural Panel Finish SPF-3
Voids	Free	Not greater than 1/8 in.
Holes	Free	Not mentioned (likely included in voids)
Pockets	Free	Not mentioned (likely included in voids)
Other surface deformations	Not greater than 1/8 in.	Not greater than 1/8 in.
Projections	No projection of reinforcing patterns, floor joints, or other projections or voids from casting surface	Grind or patch floor flush surface defects that show on panel surface
Cracks	Not exceed 1/32 in.	Repair cracks that allow water to seep to interior
Repairs	Prevent projection of brush strokes through finish	Ground or patch voids and offsets greater than 1/8 in.
Acceptance	Maintain approved mockup for comparison with finish work	Match accepted mockup when viewed at a distance of 10 ft in daylight

Note: 1 in. = 25 mm

Table 3:
Criteria for visual inspection of architectural concrete

Visual Inspection for Acceptance—ACI 301-20 Section 6—Architectural Concrete (Formed Concrete Surfaces)	
Comparative standard	
Field mockup	Reference sample
Viewing conditions	
Viewing distance at 20 ft Viewed in daylight	
Visible surface anomalies	
Aesthetic anomalies	Physical anomalies* (SF-3)
<ul style="list-style-type: none"> Color 	<ul style="list-style-type: none"> Voids larger than 3/4 in. wide or 1/2 in. deep
<ul style="list-style-type: none"> Texture 	<ul style="list-style-type: none"> Projections larger than 1/8 in.
	<ul style="list-style-type: none"> Tie holes
	<ul style="list-style-type: none"> Class A surface tolerance
Acceptance	
Match accepted mockup or reference sample	
Periodic	Final
Repair	
Yes—unlimited but acceptance based on mockup repairs	

*Visual inspection then measured for conformance

Note: 1 in. = 25 mm

unformed surfaces and precast and site-cast tilt-up. The development and comparison of these tables should assist in maintaining consistency in developing visual inspection requirements for architectural concrete.

References

1. "Glancing Light," Technical Advice, Dulux, Australia, 2015, <https://www.dulux.com.au/applicator/technical-advice/preparation/glancing-light/>.
2. "Critical Light and Tips to Minimize Aesthetic Irregularities," Technical Bulletin, Master Builders Solutions, Shakopee, MN, 2 pp., <https://assets.construction-chemicals.mbcc-group.com/en-us/tech-bulletin-critical-light-minimize-irregularities.pdf>, accessed Apr. 22, 2024.
3. SunCalc®, <https://www.suncalc.org/#/27.6936,-97.5195,6/2024.01.18/14:42/1/3>, accessed Apr. 22, 2024.
4. "Sun Angle Calculator," Omni Calculator, <https://www.omnicalculator.com/physics/sun-angle>, accessed Apr. 22, 2024.
5. "NOAA Solar Calculator," National Oceanic and Atmospheric Administration, Global Monitoring Laboratory, Earth System Research Laboratories, <https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/>, accessed Apr. 22, 2024.
6. "Glancing Light," All Plastering Solutions, 12 pp., <https://allplasteringsolutions.com.au/wp-content/uploads/2012/08/Effects-of-Glancing-Light.pdf>, accessed Apr. 22, 2024.
7. *Illumination and Decoration of Flat Surfaces*, sixth edition, B. Cameron, ed., CSIRO Publishing, Clayton, Australia, Apr. 2009, 40 pp.
8. *Paint and Plasterboard: A Guide to Best Practice Methods*, third edition, Building Services Authority, Queensland, Australia, 2008, 28 pp., <https://awci.org.au/wp-content/uploads/2019/05/Standards-and-Guide-Paint-and-Plasterboard-A-Guide-to-Best-Practice-Methods.pdf>.
9. *Industry Standards*, Painting Contractors Association, Maryland Heights, MO, 2019, 111 pp.
10. "Glancing Light," Gyprock®, North Ryde, NSW, Australia, 2018, 12 pp., https://www.gyprock.com.au/-/media/gyprock/content/documents/install/finishing/gyprock-482-glancing_light-201808.pdf.
11. "Critical Light & Aesthetic Issues," Technical Bulletin TB019, Parex USA, Inc., Anaheim, CA, 2 pp., <https://variancefinishes.com/tech-bulletins/common/TB019-CRITICALLIGHTANDAESTHETICISSUES/TB019.pdf>, accessed Apr. 22, 2024.
12. "Visual Acceptance Parameters for Insulated Metal Panels (IMP) and Panel Systems," Metal Construction Association, Chicago, IL, 2017, 13 pp., <https://www.atas.com/wp-content/uploads/2019/07/1217-IMP-Visual-Inspection-Guide.pdf>.
13. "The Effect of Light and Shadows on Masonry," Masonry Institute of America, Torrance, CA, 2012, 4 pp., <https://www.masonryinstitute.org/pdf/620-12.pdf>.
14. ASTM C1364-19, "Standard Specification for Architectural Cast Stone," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 3 pp.
15. CSI, "Inspection and Acceptance," Technical Bulletin #36, Cast Stone Institute, Hamilton, TX, 2017, 2 pp., http://www.caststone.org/bulletins/technical_bulletin_36_inspection-and-acceptance.pdf.
16. See, J.E., "Visual Inspection: A Review of the Literature," SANDIA Report SAND2012-8590, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, 2012, 76 pp., <https://www.osti.gov/servlets/purl/1055636>.
17. Moore, M.; Phares, B.; Graybeal, B.; Rolander, D.; and Washer, G., "Reliability of Visual Inspection for Highway Bridges, Volume I: Final Report," FHWA-RD-01-020, Federal Highway Administration, McLean, VA, 2001, 516 pp.
18. Moore, M.; Phares, B.; Graybeal, B.; Rolander, D.; and Washer, G., "Reliability of Visual Inspection for Highway Bridges, Volume II: Appendices," FHWA-RD-01-021, Federal Highway Administration, McLean, VA, 2001, 376 pp.
19. Megaw, E.D., "Factors Affecting Visual Inspection Accuracy," *Applied Ergonomics*, V. 10, No. 1, Mar. 1979, pp. 27-32.
20. Rao, P.; Bowling, S.R.; Khasawneh, M.T.; Gramopadhye, A.K.; and Melloy, B.J., "Impact of Training Standard Complexity on Inspection Performance," *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, V. 16, No. 1, Spring 2006, pp. 109-132.
21. Gallwey, T.J., "Evaluation and Control of Industrial Inspection: Part I—Guidelines for the Practitioner," *International Journal of Industrial Ergonomics*, V. 22, No. 1-2, Aug. 1998, pp. 37-49.
22. Jamieson, G.H., "Inspection in the Telecommunications Industry: A Field Study of Age and Other Variables," *Ergonomics*, V. 9, No. 4, 1966, pp. 297-303.
23. Gookins, E.F., "Section 23: Inspection and Test," *Juran's Quality Handbook*, fifth edition, J.M. Juran and F.M. Gryna, eds., McGraw-Hill, New York, NY, 1998.
24. Gallwey, T.J., and Drury, C.G., "Task Complexity in Visual Inspections," *Human Factors*, V. 28, No. 5, Oct. 1986, pp. 595-606.
25. Drury, C.G., and Wang, M.J., "Are Research Results in Inspection Task Specific?" *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, V. 30, No. 5, Sept. 1986, pp. 476-480.
26. ASTM E284-22, "Standard Terminology of Appearance," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 25 pp.
27. ASTM E1808-96(2021), "Standard Guide for Designing and Conducting Visual Experiments," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 8 pp.
28. ASTM E1499-16(2023), "Standard Guide for Selection, Evaluation, and Training of Observers," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023, 4 pp.
29. ACI Committee 311, "Guide for Concrete Inspection (ACI 311.4R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 14 pp.
30. ACI Committee 303, "Standard Specification for Cast-in-Place Architectural Concrete (ACI 303.1-97)(Withdrawn)," American Concrete

Errata for ACI Publications Available Online

Under the menu for "Publications" at 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.



Institute, Farmington Hills, MI, 1997, 10 pp.

31. ACI Committee 303, "Guide to Cast-in-Place Architectural Concrete Practice (ACI 303R-12)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2012, 32 pp.

32. ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.

33. ACI Committee 347, "Guide to Formed Concrete Surfaces (ACI 347.3R-13)(Reapproved 2021)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 17 pp.

34. "Manual for Quality Control for Plants and Production of Architectural Precast Concrete Products (MNL-117-13)," Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2013, 334 pp.

35. "Designer's Notebook: Acceptability of Appearance (DN-22-11)," Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2011, 8 pp.

36. "Guide Specification for Site-Cast Tilt-Up Construction, Section 034700, Site-Cast Tilt-Up Concrete," Tilt-Up Concrete Association, Mt. Vernon, IA, 2018, 18 pp.

37. "Pilkington Sun Angle Calculator Instruction Manual," Society of Building Science Educators, 21 pp., https://www.sbse.org/sites/sbse/files/uploads/documents/PSAC_Manual.pdf, accessed Apr. 22, 2024.

38. ACI Committee 228, "Visual Condition Survey of Concrete—Guide (ACI PRC-228.4-23)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023, 29 pp.

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **James E. 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. He was the recipient of the 2020 ACI Construction Award and the 2022 ACI Roger H. Corbetta Concrete Constructor Award. Klinger received his master's degree in structural engineering from the University of Maryland, College Park, MD, USA.



Ron L. Kozikowski, FACI, is Vice President of North S.Tarr Concrete Consulting, P.C., Dover, NH, USA, specializing in troubleshooting concrete construction issues. He has over 20 years of experience as a construction and materials engineer. Kozikowski is a member of ACI Committees C680, Adhesive Anchor Installer Certification; 207, Mass and Thermally Controlled Concrete; 213, Lightweight Aggregate and Concrete; 301, Specifications for Concrete Construction; 306, Cold Weather Concreting; and 308, Curing Concrete; and Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances. He received his BS and MS in civil engineering from the University of New Hampshire, Durham, NH.



ACI member **Tim I. Manherz** is the Vice President of Operations at Encore Concrete Construction, Houston, TX, USA. He has 35+ years of experience in the construction industry, with over 30 years dedicated to the concrete segment. He is a member of ACI Committees 302, Construction of Concrete Floors; 330, Concrete Parking

Lots and Site Paving; 360, Design of Slabs on Ground; and Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances. He is a member of the ASCC Technical and Membership Committees. Manherz served as TCA President in 2018 and was inducted into the TCA College of Fellows in 2020. He received the 2020 ACI Construction Award and the 2022 ACI *Concrete International* Award.



Anthony R. DeCarlo, FACI, is the President and CEO of Dominion Concrete Services LLC in Cincinnati, OH, USA. He has 30 years of industry experience as a concrete contractor in the commercial and industrial markets. He is Chair of ACI Subcommittees 301-F, Architectural Concrete - Section 6, and 301-L, Tilt-Up Construction - Section 12; and a member of the ACI Financial Advisory Committee; ACI Committees 301, Specifications for Concrete Construction, and 330, Concrete Parking Lots and Site Paving; and ACI Subcommittee 301-SC, Steering Committee. He also served on the ACI Board of Direction and is a member of the ACI Foundation's Scholarship Council. In addition, DeCarlo is Vice President of ASCC and serves on its Board of Direction. He received his BS in construction management from University of Cincinnati, Cincinnati, OH.



Bruce A. Suprenant, FACI, is Chair of ACI Subcommittee 117-M, Movements Affecting Tolerances, and Vice Chair of Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances, as well as a member of ACI Committees 134, Concrete Constructability; and 302, Construction of Concrete Floors. His honors include the 2022 ACI *Concrete International* Award, 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.

02

Inspección Visual de la Apariencia Superficial del Concreto Arquitectónico

Por James E. Klinger, Ron L. Kozikowski, Tim I. Manherz, Anthony R. DeCarlo Jr., y Bruce A. Suprenant

Son las 5 p.m. en un día laboral. Hora de terminar. Los trabajadores de la construcción están guardando sus herramientas y dirigiéndose a sus vehículos para el viaje de regreso a casa, excepto el equipo de concreto. Este equipo está ubicado alrededor del sitio, observando las superficies de los paneles de muros recién levantados (Tilt-Up). Algunos paneles presentan características, líneas que se correlacionan con los cortes de sierra en la losa que sirvió como superficie de colado para los paneles, que son visibles sólo durante 1 hora al día, de 4 a 5 p.m. Aunque el equipo reparó las superficies de los paneles y encontró brechas debajo de una regla recta de menos de 0.8 mm (1/32 de pulgada) a lo largo de las líneas de corte de la sierra, estas características aún son visibles.

Desde la perspectiva de la administración de los contratos de construcción, ¿las líneas son imperfecciones? Los criterios de la industria del concreto para esta situación no son claros. Si estas características se consideran imperfecciones, ¿se deben a una mala mano de obra? Incluso si cada línea se volviera a reparar con una brecha cero debajo de una regla recta, ¿seguiría siendo visible? ¿Y por qué estas líneas son visibles sólo durante 1 hora por la tarde?

Luz Rasante

La luz rasante se utiliza comúnmente para describir una condición de iluminación crítica que ocurre cuando la luz incide sobre una superficie en un ángulo agudo o rasante (Fig. 1), y proyecta sombras que resaltan las imperfecciones de la superficie. Esta condición de iluminación crítica acentúa juntas y variaciones en el brillo, la textura, la uniformidad de la superficie u otras irregularidades de la misma.

La luz reflejada en una superficie es difusa, es decir, se dispersa en muchas direcciones diferentes, por lo que un observador puede no percibir pequeñas imperfecciones cuando el ángulo de visión respecto a la superficie es agudo u obtuso. Sin embargo, a medida que el ángulo de visión se vuelve más agudo o crítico, aumenta la cantidad de luz no dispersada que se refleja en el ojo, y las imperfecciones de la superficie se vuelven más visibles¹. Las superficies que son muy lisas (no texturizadas) o brillantes reflejarán más luz en lugar de dispersarla. Cuanto más se refleje la luz, más visibles serán las imperfecciones de la superficie.

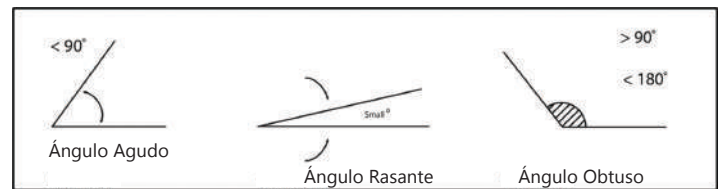
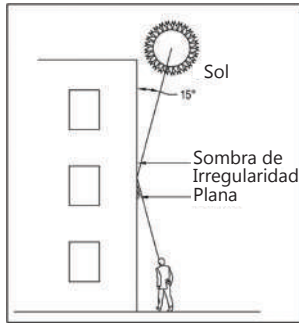


Figura 1. Ejemplos de ángulo agudo, rasante y obtuso. Un ángulo de luz rasante se considera típicamente menor a 15 grados y puede resaltar irregularidades de la superficie de 0.8 mm (1/32 pulgadas) o mayores.^{1,2}

Iluminación Crítica frente a Iluminación no Crítica

Es importante entender el significado de los términos “iluminación crítica” e “iluminación no crítica”. La iluminación crítica ocurre cuando la luz solar u otra fuente de luz incide sobre una superficie de pared a un ángulo de 15 grados o menor, es decir, el ángulo crítico². La inspección visual de las superficies de paredes o techos durante la iluminación crítica (Fig. 2) proyectará una sombra para cualquier irregularidad de 1/32 de pulgada o mayor². La iluminación no crítica ocurre cuando la luz incide sobre la superficie a un ángulo mayor de 15 grados. Si las especificaciones se refieren a observar la superficie en condiciones de iluminación no crítica, indica que esta condición de luz no debe usarse para acentuar las irregularidades de la superficie. La iluminación crítica existe sólo por un tiempo notablemente breve, a veces sólo unos pocos minutos al día.

Aunque existen muchas calculadoras de ángulos solares (SunCalc³, Omni Calculator⁴, y NOAA Solar Calculator⁵), existen métodos más prácticos para determinar cuándo se debe inspeccionar visualmente la superficie. Una recomendación es inspeccionar visualmente las superficies de concreto entre las 10 a.m. y las 2 p.m., cuando el ángulo de la luz diurna (luz solar) sea mayor de 15 grados¹. Sin embargo, cabe destacar que la iluminación crítica también puede ser una



No Sólo es un Problema Exterior y Vertical

La Figura 4 ilustra el efecto de la luz rasante en la losa interior de un estacionamiento. A las 5:30 p.m., la luz rasante a través de una abertura en la pared resalta una superficie con apariencia de tabla de lavar que no es tan evidente a las 6 p.m. La apariencia visual de la tabla de lavar disminuye con el tiempo cuando termina la luz rasante.

No Solo es un Problema del Concreto

El efecto de la iluminación crítica en la apariencia basada en la inspección visual es un problema con otras industrias, incluyendo:

- Superficies pintadas^{1,8,9};
- Paneles de yeso¹⁰;
- Sistema de aislamiento y acabado exterior (EIFS, por sus siglas en inglés)²;
- Estuco / yeso^{2,11};
- Paneles metálicos¹²;
- Mampostería¹³; y
- Piedra moldeada^{14,15}.

Una revisión de los criterios para la inspección visual de estas superficies ilustra la misma confusión que existe en la industria del concreto.

Aspectos Básicos de la Inspección Visual

La inspección visual es la forma más antigua de control de calidad. Aunque estamos interesados en la inspección visual de la apariencia superficial,



Figura 4. Efecto de la luz rasante que se refleja a través de las aberturas de las paredes de un garaje de estacionamiento. A las 5:30 p.m., se puede visualizar la apariencia de la tabla de lavar que disminuye con el paso del tiempo.

Figura 2. En los momentos en los que se produce la iluminación crítica, se pueden observar sombras proyectadas por irregularidades de 1/32 de pulgada o mayores. Se recomienda que la inspección visual se realice durante la iluminación no crítica¹². (de la Referencia 2)

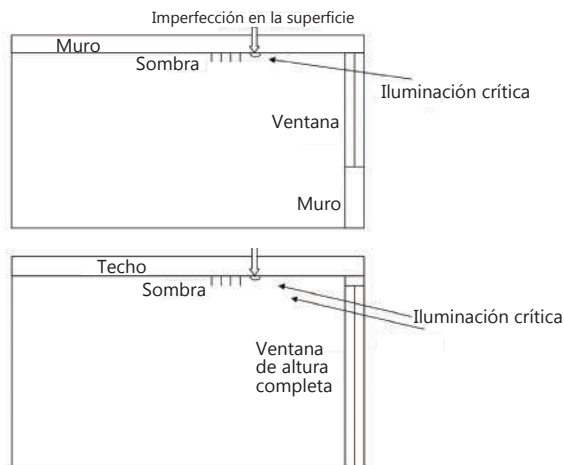


Figura 3. La iluminación crítica puede ocurrir en interiores cuando las ventanas o aberturas se extienden hasta la intersección entre techos y paredes. (de la Referencia 6)

condición interior cuando las ventanas o aberturas se extienden hacia las paredes o techos (Fig. 3)⁶. En estos casos, la iluminación crítica puede surgir cerca del amanecer o del atardecer.

Iluminación Artificial

La iluminación artificial, que es cualquier luz que no sea de origen natural, como la iluminación de construcción o del proyecto final, también puede crear luz rasante. No podemos encontrar recomendaciones para las condiciones de iluminación artificial que se deben usar para la inspección visual de superficies interiores durante la construcción. Sin embargo, colocar la iluminación de inspección en el mismo lugar que la iluminación del proyecto final puede resaltar imperfecciones en la superficie que podrían precipitar el rechazo cuando se instale la iluminación del proyecto final.

Tabla 1:
Factores que impactan el desempeño de la inspección
(de la referencia 16)

Tarea	Individual
<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de defectos • Tipo de defecto • Visibilidad de defectos • Localización del defecto • Complejidad • Estándares • Vertido • Inspecciones múltiples • Recubrimientos • Automatización 	<ul style="list-style-type: none"> • Género • Edad • Agudeza Visual • Inteligencia • Aptitudes • Personalidad • Tiempo en el trabajo • Experiencia • Zona visual • Estrategia de inspección • Sesgos
Ambiental	Organizacional
<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación • Ruido • Temperatura • Duración de turno • Hora del día • Vigilancia • Diseño de espacios laborales 	<ul style="list-style-type: none"> • Respaldo de gerencia • Capacitación • Capacitación adicional • Instrucciones • Información previa • Retroalimentación • Incentivos • Rotación de trabajo
Social	
<ul style="list-style-type: none"> • Presión • Consultas • Aislamiento • Comunicación 	

también se ha utilizado como un método de prueba no destructiva (NDT, por sus siglas en inglés) para observar defectos físicos. Aunque la inspección visual es un método que ofrece numerosos beneficios, no está exento de limitaciones. Una de las limitaciones principales es su dependencia del juicio subjetivo de los inspectores, lo que puede llevar a inconsistencias potenciales en los resultados.

Generalmente, la industria del concreto utiliza la inspección visual comparativa: comparar un elemento con una referencia o estándar, a menudo lado a lado, para detectar desviaciones o defectos. Sin embargo, cuando las personas que realizan la inspección visual no pueden mantenerse objetivas y comienzan a introducir subjetividad (opiniones y sesgos), el proceso está defectuoso.¹⁶ Puede convertirse en un problema cuando las expectativas de apariencia no están claramente expresadas en las especificaciones. Cuando el inspector inspecciona visualmente un modelo o producto terminado, es importante considerar si la evaluación se basa en la mano de obra de acuerdo con las especificaciones del proyecto o en las expectativas del inspector sobre el modelo o proyecto completado.

El enfoque de inspección visual “Lo sé cuando lo veo” crea dificultades. Esta expresión coloquial suele recordarse como utilizada por Arthur Conan

Doyle y el juez de la Suprema Corte de Justicia Potter Stewart. En el sabueso de los Baskerville de Doyle, Sherlock Holmes comenta sobre la calidad de un retrato diciendo: “Sé qué es bueno cuando lo veo”. El juez Stewart utilizó famosamente la cita para describir su prueba de umbral para la obscenidad. Cuando este enfoque se utiliza en la inspección visual para la construcción, crea grandes desafíos para el contratista que licitó el proyecto y proporcionó un modelo basado en las especificaciones del proyecto.

See¹⁶ proporciona una revisión de la literatura sobre inspección visual, incluyendo los resultados de numerosos estudios de inspección realizados durante más de 6 décadas sobre los factores que impactan el desempeño de la inspección, como se muestra en la Tabla 1. La Administración Federal de Carreteras (FHWA) estudió la confiabilidad de la inspección visual en puentes de carreteras, proporcionando información sobre los factores físicos, ambientales y de gestión que afectan la inspección visual^{17,18}. Los siguientes resúmenes del número de defectos, estándares de comparación y factores para una inspección perfecta son versiones editadas de See¹⁶.

Número de defectos

Megaw¹⁹ observó que, independientemente del número total de posibles defectos, los inspectores parecen buscar un subconjunto de alrededor de cinco. Señala que, sin retroalimentación, los inspectores no necesariamente elegirán el subconjunto más apropiado de defectos. Siguiendo esta línea, Rao y otros²⁰ concluyeron que seis defectos pueden representar el máximo práctico para un inspector. De acuerdo con los hallazgos de investigación sobre el tipo de defecto, Gallwey²¹ recomendó buscar un tipo de defecto en todas partes del producto, luego pasar al segundo tipo de defecto, en lugar de intentar buscar todos los tipos de defectos simultáneamente en todas las áreas del producto.

Estándares para la comparación

La forma en que se definen los defectos puede afectar el desempeño de la inspección. La definición de defectos incluye tanto la definición literal del defecto (por ejemplo, un rayón de 50 mm [2 pulgadas] de largo), como cualquier estándar que se pueda utilizar para definirlo en relación con los productos buenos.

En primer lugar, con respecto a la definición literal del defecto, Jamieson²² indicó que la ausencia

de una especificación clara de lo que constituye un defecto contribuye a un bajo desempeño de la inspección. Específicamente, la falta de definiciones claras de defectos llevó a los inspectores a formar criterios personales, lo que resultó en variabilidad en la calidad del trabajo durante la inspección. Tales criterios subjetivos parecen cambiar con el tiempo, lo que resulta en productos que habrían sido rechazados en un momento, pero son aceptados en otro²³. Este fenómeno puede observarse tanto entre inspectores como en un mismo inspector. A falta de definiciones claras, cada inspector puede revisar su propio trabajo si, sin saberlo, se le devuelve.

En segundo lugar, el uso de estándares para comparar un artículo dado generalmente es beneficioso. El uso de estándares convierte una tarea de juicio absoluto en una tarea de juicio comparativo, eliminando la necesidad de depender de la memoria a largo plazo del estándar. Por lo tanto, las tareas de inspección que utilizan estándares para la comparación tienden a estar asociadas con una mejor detección de defectos²². Sin embargo, los estándares mismos deben ser simples y fáciles de interpretar. Gallwey y Drury²⁴ mostraron que el resultado de la inspección era peor cuando se debían usar estándares diferentes para diferentes áreas del producto, en comparación con la condición en la que podían aplicarse los mismos estándares para aceptación/rechazo a cualquier defecto.

Inspección perfecta

Los factores individuales se refieren a las características físicas, mentales y de personalidad del inspector, como la edad, la inteligencia y la extraversión. Se han investigado extensamente los factores individuales para identificar los rasgos del inspector “perfecto” y desarrollar técnicas de selección de personal para la inspección. De hecho, quizá el hallazgo más consistente en materia de inspección sea la existencia de grandes diferencias tanto entre los inspectores como dentro de cada uno de ellos, en la forma en que realizan la tarea y en el nivel general de precisión que alcanzan²⁵.

Normas ASTM

ASTM International dispone de normas para la inspección visual de proyectos de remoción de asbestos, integridad de sellos para embalajes flexibles, interruptores de membrana, tejidos para sujeciones inflables, líquidos transparentes claros, equipos farmacéuticos, fundiciones de acero y

materiales opacos iluminados difusamente. Estas normas para la inspección visual típicamente incluyen requisitos para:

- Capacitación del inspector;
- Condiciones de iluminación;
- Ángulo de visión; y
- Distancia de visión.

Tres normas ASTM de interés incluyen:

- ASTM E284-22, “Terminología Estándar de Apariencia”²⁶;
- ASTM E1808-96(2021), “Guía Estándar para Diseñar y Llevar a cabo Experimentos Visuales”²⁷; y
- ASTM E1499-16(2023), “Guía Estándar para la Selección, Evaluación y Capacitación de Observadores”²⁸.

La norma ASTM E284 define los términos utilizados en la descripción del aspecto, incluidos, entre otros, el color, brillo, opacidad, dispersión, textura y visibilidad tanto de materiales (ordinarios, fluorescentes y retrorreflectantes), como de las fuentes de luz (incluidas las unidades de presentación visual). La definición de los términos se ha hecho para lograr una mayor exactitud, brevedad, claridad, precisión y coherencia interna y para establecer distinciones que resulten más útiles en la medición y especificación práctica de la apariencia.

Además, la norma ASTM E284 define las condiciones de visualización bajo las cuales se realiza una observación visual, incluyendo:

- a) el ángulo subtendido de la muestra en el ojo;
- b) la relación geométrica entre la fuente, la muestra y el ojo;
- c) el carácter fotométrico y espectral de la fuente;
- d) el carácter fotométrico y espectral del campo de visión que rodea la muestra; y
- e) el estado de adaptación del ojo.

La norma ASTM E1808 en su Sección 5 proporciona recomendaciones para establecer condiciones de visualización, que incluyen:

- a) fuente de luz;
- b) geometría de visualización;
- c) entorno y campo ambiental; y
- d) observadores.

Las recomendaciones de la industria del concreto para la inspección visual se beneficiarían enormemente al usar la norma ASTM E1808 para establecer las condiciones de visualización.

La norma ASTM E1499 proporciona orientación sobre la selección, evaluación y capacitación de los observadores que deberían ser útiles para todos los experimentadores que diseñen o utilicen métodos de prueba visual para proporcionar

resultados directos en términos de la observación de propiedades de la apariencia. La industria del concreto no aborda la selección, evaluación y capacitación de observadores o las aptitudes necesarias de los observadores para realizar una inspección visual adecuada.

Recomendaciones de la Industria del Concreto para la Inspección Visual de la Apariencia

La norma ACI 311.4R-05, “Guía para la Inspección del Concreto,”²⁹ establece la “inspección de daños y apariencia visual” para la el montaje de elementos prefabricados. Aunque el documento no proporciona más consejos específicos sobre esta tarea, comenta sobre la capacitación del inspector y el papel del arquitecto/ingeniero para proporcionar requisitos adicionales para trabajos especializados como el concreto arquitectónico:

“Todo el personal que realice trabajos de inspección y pruebas al concreto debe estar certificado, y demostrar conocimiento y capacidad para realizar los procedimientos de inspección y pruebas necesarios equivalentes a las pautas mínimas establecidas para la certificación por ACI para la categoría correspondiente.” (Sección 3.6)

“*Trabajo especializado:* Algunos proyectos de construcción pueden requerir elementos de inspección que no figuren en la Tabla 3.1, o en el Apéndice I. Estos elementos pueden ser agregados por el arquitecto/ingeniero para asegurar una conformidad adecuada con los requisitos de calidad. Por esta razón, los elementos de inspección enumerados están destinados a cubrir solo aquellas actividades de construcción y materiales más comúnmente encontrados en la construcción de concreto. Los elementos de inspección para trabajos especializados, como el relleno de lechada a presión, el concreto lanzado, el concreto de alto rendimiento, el concreto autocompactable, los pisos de dos capas, los pisos súper planos, el terrazo, el estuco, la mampostería, la piedra moldeada, el azulejo, el concreto arquitectónico, la pintura, el concreto con agregado precolocado, la construcción con muros levantados (Tilt-Up), la construcción bajo agua, el concreto al vacío y la construcción con encofrados deslizantes, se omiten intencionalmente de la Tabla 3.1 y del Apéndice I. Se espera que el arquitecto/ingeniero desarrolle criterios de inspección para trabajos especializados que sean apropiados para las necesidades específicas de estas actividades.”

(Sección 3.7.4.1)

Los documentos de ACI que incluyen recomendaciones o requisitos para la inspección visual del concreto colado en sitio, prefabricado y de muros levantados (Tilt-Up) son:

- ACI 303.1-97, “Especificación Estándar para Concreto Arquitectónico Colado en Sitio” (Retirada)³⁰;
- ACI 303R-12, “Guía para la Práctica del Concreto Arquitectónico Colado en Sitio”³¹;
- ACI 301-20, “Especificaciones para la Construcción de Concreto”³²; y
- ACI 347.3R-13(21), “Guía para Superficies de Concreto Encofrado”³³.

El ACI 303.1-97 en su sección 5.3.9.1, establece los requisitos de aceptación final para el concreto arquitectónico:

“Al completarse el concreto arquitectónico, la aceptación final se basa en la coincidencia del concreto arquitectónico colado en sitio con las maquetas de campo aceptadas cuando se visualizan a una distancia de 6 metros (20 pies) a la luz del día.”

El ACI 303R-12 proporciona recomendaciones de inspección visual para la aceptación general y final, y la visualización de la maqueta previo a la construcción:

- “*Criterios generales de aceptación:* Las superficies de concreto arquitectónicamente aceptables deben ser estéticamente compatibles con variaciones mínimas de color y textura y defectos superficiales cuando se ven a una distancia de aproximadamente 6 m (20 pies) o más, según lo acordado por el arquitecto, propietario y contratista, o como se especifique de otra manera.” (Sección 3.1.1)
- “*Maqueta de campo previa a la construcción:* La maqueta de campo previa a la construcción (Fig. 3.5.4) es una muestra a escala real de concreto arquitectónico construida en el sitio por el contratista con el equipo, materiales y procedimientos de construcción propuestos. El contratista debe obtener la aprobación por escrito del producto terminado por parte de la agencia especificadora y del propietario después de verlo a la distancia acordada antes de construir la estructura principal.” (Sección 3.5.4)
- “*Aceptación final:* Si los procedimientos determinados por la maqueta de campo previa a la construcción aprobada en el sitio se mantienen durante todo el proyecto, la aceptación final a la distancia acordada no debería ser un problema. Debido a

la inevitable falta de uniformidad de las prácticas de construcción, se requerirán algunas reparaciones. Su aceptabilidad final dependerá de la técnica y habilidad de mezcla del contratista. La revisión periódica por parte del inspector y del arquitecto/ingeniero para permitir la aceptación parcial crea buena voluntad y confianza con todos los involucrados. Después de la aceptación final, los registros del inspector deben completarse y archivarse. Si se realizan adiciones posteriores o se construyen edificios adyacentes, estos registros serán útiles para la construcción.” (Sección 3.5.6.4)

La norma ACI 301-20 establece los requisitos visuales para la aceptación del concreto arquitectónico y los paneles arquitectónicos levantados (Tilt-Up), reparaciones en concreto estructural prefabricado, y el color superficial de ladrillos delgados utilizados para el concreto prefabricado arquitectónico:

- “*Aceptación periódica:* El arquitecto/ingeniero observará periódicamente las porciones completadas de concreto arquitectónico para verificar la conformidad con el modelo de campo aceptado. La frecuencia de la aceptación periódica y los criterios de aceptación se establecerán en la reunión previa a la construcción.” (Sección 6.1.4.5(a))
- “El concreto arquitectónico declarado inaceptable durante la observación periódica deberá ser reparado o sustituido. Presentar un método revisado para producir concreto aceptable antes de proceder con la construcción adicional de concreto arquitectónico.” (Sección 6.1.4.5(b))
- “*Aceptación final del concreto arquitectónico:* Una vez terminado el concreto arquitectónico, incluyendo las reparaciones superficiales y el parcheo de orificios de anclaje, la aceptación final se basa en igualar el concreto arquitectónico colado en sitio con el modelo de campo aceptado visto a una distancia de 6 metros (20 pies) a la luz del día. El trabajo defectuoso que no cumpla con los Documentos del Contrato, incluyendo las áreas de reparación no aceptadas, debe ser eliminado y reemplazado.” (Sección 6.3.1.2)
- *Acabado de Panel Liso Arquitectónico-3 (APL-3)* - “Al completar las reparaciones superficiales y el parcheo, para la aceptación final los paneles deberán coincidir con la apariencia del panel de maqueta aceptado cuando se ve desde una distancia de 10 pies

a la luz del día.” (Sección 12.3.9(a)(d))

- *Reparaciones* - “Mezcle los materiales de parcheo y repare los elementos de manera que los parches curados se mezclen con el color, la textura y la uniformidad de las superficies expuestas adyacentes y no muestren una línea de demarcación aparente entre el trabajo original y el reparado cuando se vea a la luz del día desde 20 pies.” (Sección 13.3.5(c))
- “*Color superficial* - Los ladrillos especificados con coloración superficial, que no sean ladrillos flameados o acabados en arena, deben resistir 50 ciclos de congelación y descongelación de acuerdo con la norma ASTM C67 sin diferencia observable en el acabado aplicado si se ve a la luz del día desde 20 pies.” (Sección 14.2.6.2(j))

El ACI 347.3R-13(21), Sección 7.2, proporciona la siguiente recomendación para evaluar visualmente la impresión general:

“Realice la evaluación bajo condiciones normales de iluminación desde una distancia mínima de 6 m (20 pies) o más, que sea perpendicular a la superficie de concreto que se va a observar. Esta distancia de visualización permite evaluar si se ha conseguido el aspecto general de la estructura.

La luz solar que incide sobre una superficie de concreto en un ángulo agudo amplificará la apariencia de las irregularidades, por lo que se deben evitar las evaluaciones bajo estas condiciones.

La distancia de observación apropiada es igual a la distancia que permite ver todo el edificio, las partes esenciales del edificio o ambas cosas en su totalidad. Las características de diseño individuales deben ser reconocibles. Para el concreto arquitectónico, consulte ACI 303R-12.”

Las recomendaciones o requisitos del Instituto del Concreto Prefabricado (Precast/Prestressed Concrete Institute PCI) y la Asociación de Muros Levantados de Concreto (Tilt-Up Concrete Association, TCA) para la inspección visual del concreto prefabricado y de muros levantados (Tilt-Up) se incluyen en:

- PCI MNL-117-13, “Manual para el Control de Calidad de las Plantas y la Producción de Productos de Concreto Arquitectónico Prefabricado”³⁴;
- PCI DN-22-11, “Cuaderno del Diseñador: Aceptabilidad de la Apariencia”³⁵; y
- Especificación de la Guía TCA para la Construcción de Concreto de Muros

Levantados (Tilt-UP) en el Sitio³⁶.

El manual PCI MNL-117-13 proporciona las siguientes recomendaciones sobre la aceptación:

- Áreas de Curado y Acabado - “La iluminación es extremadamente importante en el área de acabado y en el punto donde se realiza la inspección final antes del transporte a la zona de almacenamiento. Aquí es donde se hace la comparación de color y textura con las muestras aprobadas. Cuando sea posible, la iluminación interior debe ser lo más parecida posible a la luz del día.” (Sección de Comentarios 2.2.6)
- Aceptabilidad del Aspecto- “La superficie de la cara terminada no debe tener imperfecciones obvias aparte de variaciones mínimas de color y textura con respecto a las muestras aprobadas o evidencia de reparaciones, cuando se observe con una buena iluminación diurna típica, a simple vista y sin ayuda, consistente con la distancia de visualización en la estructura, pero no inferior a 6m (20 pies). La apariencia de la superficie no debe evaluarse cuando la luz ilumina la superficie desde un ángulo extremo, ya que tiende a acentuar las irregularidades superficiales menores.” (Sección 2.10)

El Manual de Prácticas de Concreto Prefabricado, PCI DN-22-11, recomienda que una persona tenga la autoridad final para la aceptabilidad del color, acabado y textura, y que los documentos del contrato identifiquen claramente dicha autoridad aceptante. El documento también proporciona recomendaciones sobre la aceptabilidad de la apariencia y las reparaciones y grietas vistas a una distancia de 20 pies o más:

- Aceptabilidad del aspecto- “La determinación de la uniformidad aceptable del color, acabado y textura se realiza mediante examen visual, y generalmente es una cuestión de juicio e interpretación subjetiva e individual. Las variaciones aceptables de color y textura, imperfecciones superficiales y la uniformidad deben determinarse en el momento en que se aprueba la muestra, la maqueta o las unidades de producción iniciales. En consecuencia, está fuera del alcance de esta publicación establecer reglas precisas o definitivas para la aceptabilidad del producto en función de su aspecto. Sin embargo, un criterio adecuado de aceptabilidad requiere que la superficie de concreto terminada tenga una apariencia agradable con variaciones mínimas de color y textura con respecto a las muestras

aprobadas. La superficie terminada en la cara no debe mostrar imperfecciones fácilmente visibles aparte de variaciones mínimas de color y textura de las muestras aprobadas o evidencia de reparaciones cuando se vea en la iluminación típica de la luz del día con el ojo desnudo y sin ayuda, consistente con la distancia de visualización de la estructura, pero no menor a una distancia de visualización de 6 m (20 pies) o mayor. La apariencia de la superficie tampoco debe evaluarse cuando la luz ilumina la superficie desde un ángulo, ya que tiende a acentuar las irregularidades superficiales menores debido al sombreado.”

- Reparaciones visibles a una distancia de visión de 6 m (20 pies) o mayor- “Es de esperar cierto grado de reparación del producto prefabricado como procedimiento de rutina. Los métodos de reparación deben garantizar que el área reparada se ajuste al resto del trabajo con respecto a los requisitos aplicables de apariencia, adecuación estructural, servicio y durabilidad. Pueden ocurrir ligeras variaciones de color entre el área reparada y la superficie original debido a la diferente edad y condiciones de curado de la reparación. La reparación generalmente será menos visible con el tiempo (al menos un mes) con exposición al medio ambiente y debe mezclarse con las superficies adyacentes para que sea menos visible. La variación excesiva en el color y la textura de las reparaciones con respecto a las superficies adyacentes puede ser motivo de rechazo hasta que se minimice la variación.” (Sección 11)

- Grietas visibles a una distancia de visualización de 6 m (20 pies) o mayor - “La aceptabilidad de las grietas debe determinarse con respecto a los requisitos reales de la condición de servicio, la importancia estructural y la estética. Se debe hacer todo el esfuerzo posible para identificar rápidamente la causa de cualquier grieta y documentar el patrón, especialmente cuando varias unidades muestran grietas similares. Dichas grietas suelen ser el resultado de un único problema de diseño, fabricación o montaje, que luego se puede rectificar para evitar cualquier recurrencia. Si se requiere reparación de grietas para la restauración de la integridad estructural, las grietas pueden ser llenadas o inyectadas a presión con un epoxi de baja viscosidad. La aceptabilidad de las reparaciones de grietas debe regirse

por la importancia y función del panel. La decisión con respecto a la aceptabilidad debe basarse en una base de ingeniería, así como en la apariencia visual.”

La Guía de Especificación de la Asociación de Muros Levantados de Concreto (TCA), Sección 034700, Muros de concreto levantados colados en sitio, establece:

“3.7 ACABADO DEL PANEL

A. Realice el acabado de las superficies expuestas de los paneles tal como se indica en los planos, incluyendo tanto la parte delantera como la parte trasera de los paneles, así como cualquier borde expuesto según se define a continuación. Las superficies visibles de los paneles, cuando estén en su lugar definitivo, deben estar libres de defectos superficiales según se definen a continuación.

B. Grado A - Arquitectónico: Proyectos diseñados para la circulación de personas dentro de una distancia de 10 pies a 25 pies.

1. Las superficies de los paneles deben estar libres de huecos, agujeros, cavidades y otras deformaciones superficiales mayores de 1/8 de pulgada.
2. Las superficies de los paneles no deberán proyectar patrones de refuerzo, juntas de piso u otras proyecciones o huecos desde la superficie de colado.
3. No se permiten grietas mayores a 1/32 de pulgada.
4. Las reparaciones superficiales deben realizarse de manera que eviten la proyección de trazos de reparación a través del acabado previsto.
5. Los agujeros deberán llenarse con material de parcheo para presentar una superficie lisa lista para pintar a menos que el acabado diseñado resulte en agregados expuestos, en cuyo caso el material de parcheo debe coincidir con el color y la textura previstos.”

Comentarios sobre las Recomendaciones/ Requisitos de la Industria

Las superficies moldeadas y no moldeadas pueden especificarse como concreto arquitectónico, lo que incluye paredes exteriores e interiores, pisos y techos. Los criterios de inspección visual, como la distancia de visualización y la iluminación, parecen aplicarse únicamente a las paredes exteriores. No está claro cómo interpretar una distancia de visualización de 20 pies para un piso o techo y qué luz natural utilizar para una inspección visual interior. Mientras que la norma ACI

301-20 requiere una distancia de visualización de 20 pies para el concreto arquitectónico colado en sitio y prefabricado, sorprendentemente requiere una distancia de visualización de 3 m (10 pies) para paneles levantados (Tilt-UP).

Las diferencias y discrepancias en los criterios de inspección visual mostrados en este artículo necesitan ser evaluadas, discutidas y revisadas en el próximo documento ACI 301. Se proporcionan otros comentarios sobre las recomendaciones o requisitos de la industria para la inspección visual del concreto arquitectónico.

Autoridad de aceptabilidad

Solo la Referencia 35 aborda la problemática en cuestión de la inspección visual por parte de diferentes inspectores de la misma empresa o inspectores de múltiples empresas, como el arquitecto, ingeniero, director de obra, el laboratorio de pruebas o el propietario. El Instituto del Concreto Prefabricado (PCI) recomienda que solo una persona tenga la autoridad final para la aceptación, y que los documentos contractuales identifiquen claramente esa autoridad aceptante. En el caso del concreto colado en sitio, un arquitecto podría aprobar la maqueta, pero otro arquitecto podría proporcionar aprobación periódica, y luego un tercer arquitecto podría dar la aprobación final. En algunos proyectos, el arquitecto aprueba la obra, pero el propietario la rechaza.

En el caso de los prefabricados hay tres etapas de aprobación: a) producto inicial en la planta; b) producto entregado; y c) producto final montado. Introducir a múltiples individuos o múltiples organizaciones para la aprobación mediante inspección visual plantea preocupaciones muy reales sobre la repetibilidad y reproducibilidad. Considere el enfoque de inspección “Lo sé cuándo lo veo” por parte de tres inspectores diferentes. Esto está plagado de considerable confusión, especialmente cuando las especificaciones no transmiten adecuadamente las expectativas arquitectónicas, lo que da lugar a la opinión y el sesgo de cada inspector. Esto claramente requiere un mayor énfasis y discusión dentro de la industria del concreto.

Inspección periódica

El ACI 301-20 permite la inspección periódica, pero desafortunadamente deja que los intervalos de inspección se determinen en la reunión previa a la construcción. ACI 301-20 no contempla la inspección periódica para el prefabricado

arquitectónico o los muros arquitectónicos levantados (Tilt-Up). Aunque la inspección periódica está contemplada en ACI 301-20, a menudo no se lleva a cabo, dejando el destino del contratista a la inspección final.

En cuanto a la aceptación periódica, ACI 301-20, Sección 6.1.4.5(a), comete un error al indicar que “los criterios de aceptación se establecerán en la reunión previa a la construcción”. Esto no es apropiado, ya que los criterios de aceptación deben estar claramente establecidos en las especificaciones del proyecto para que el contratista pueda establecer la oferta. Los criterios de aceptación establecidos en la reunión previa a la construcción probablemente llevarán al contratista a solicitar una orden de cambio.

Ojo de visualización

Los términos “ojo desnudo” y “ojo sin ayuda” se utilizan para describir la inspección visual. Una definición del diccionario Merriam-Webster dice que estos términos son iguales y significan “algo que puede ser visto sin ningún instrumento que cambie el tamaño aparente o la distancia de un objeto o que de otro modo altere las capacidades visuales”.

Algunas especificaciones permiten la inspección visual corregida por gafas o lentes de contacto para una visión 20/20. ¿Es aceptable la corrección de la visión?

Distancia de visualización

Se recomienda una distancia de visualización de 20 pies para la apariencia. Esa distancia también se considera apropiada para la visualización de reparaciones y grietas. Otras distancias de visualización incluyen 10 pies y una distancia acordada. No hay recomendaciones sobre cómo se aplica la distancia de visualización a pisos, techos o paredes interiores con espacio limitado para la visualización.

Ángulo de la luz solar

La recomendación fue no ver la apariencia con la luz solar en un ángulo extremo, ya que acentuaría las irregularidades de la superficie. Sin embargo, ninguna de las recomendaciones o requisitos proporcionó información sobre a qué se refería “extremo”. Algunos recomendaron que la visualización no debería ocurrir cuando la luz solar esté en un ángulo agudo, que es cualquier ángulo menor de 90 grados. Dado que la iluminación

crítica se define como un ángulo oblicuo de 15 grados, la visualización solo debe tener lugar en ese momento. No hay orientación sobre cómo calcular el ángulo de visualización. La referencia 1 recomienda ver las superficies de 10 a.m. a 2 p.m., ya que en esos momentos se evitarían los ángulos oblicuos.

Ángulo de visualización

El ángulo de visualización debe ser perpendicular (90 grados) a una pared de concreto, y no se proporciona información para visualizar pisos o techos. Si la visualización es perpendicular a una pared, entonces la altura del observador determina lo que se observa. Esa recomendación parece excluir mirar hacia arriba o hacia abajo en la pared, lo que limita la cantidad de área observable.

Iluminación

Las recomendaciones para la iluminación incluyeron luz natural, luz solar, luz diurna normal, luz diurna típica, luz diurna directa, buena luz diurna típica, condiciones de iluminación típicas e iluminación interior comparable a la iluminación exterior. La referencia 37 indica que la iluminación de un cielo nublado es de alrededor de 500 lux, mientras que para un cielo despejado podría ser de hasta 1,500 lux. ACI PRC-228.4-2338 indica que la temperatura de color para la inspección visual de defectos físicos debe ser de 500 a 6,500 K para simular la luz diurna. Las condiciones de iluminación para la inspección visual durante la construcción deben ser consideradas.

Edad

La edad se utiliza como indicador de la intemperie y los cambios de color debido al secado y decoloración con el tiempo. Este problema preocupa para la visualización de la maqueta, la aceptación periódica y final, y las reparaciones. Aunque PCI DN-22-11 recomienda esperar al menos 1 mes para ver las reparaciones, no hay consistencia con respecto a la edad de visualización, un problema que afecta a cada proyecto.

Aptitudes del inspector

A pesar de que ACI 311.4R-05 discute las aptitudes y certificaciones de los inspectores, no hay un documento de la industria del concreto que aborde este problema para la inspección visual del concreto arquitectónico.

Tabla 2:
Comparación de las especificaciones TCA y ACI 301-20 para muros arquitectónicos levantados (Tilt Up)

Superficies moldeada	Especificación TCA para el Acabado Arquitectónico del Panel Grado A	Norma ACI 301-20 Acabado en Panel Arquitectónico
Vacios	Libre	No mayores a 1/8 de pulgada
Agujeros	Libre	No mencionado (probablemente incluidos en vacíos)
Cavidades	Libre	No mencionado (probablemente incluidos en vacíos)
Otras deformaciones superficiales	No mayores a 1/8 de pulgada	No mayores a 1/8 de pulgada
Proyecciones	No proyecciones de patrones de refuerzo, juntas de suelo u otras proyecciones o huecos en la superficie	Rectificar o parchear los defectos de la superficie del suelo que aparecen en la superficie del panel
Grietas	No excederán 1/32 de pulgada	Reparar las grietas que permitan que el agua se filtre al interior
Reparaciones	Evitar la proyección de pinceladas a través del acabado	Corregir o rellenar huecos y desplazamientos en el suelo o superficies mayores a 1/8 de pulgada
Aceptación	Mantener la maqueta aprobada para compararla con el trabajo acabado	Coincidir con el modelo de prueba aceptado cuando se observe a una distancia de 10 pies bajo la luz del día

Nota: 1 in. = 25 mm

Tabla 3:
Criterios de inspección visual del concreto arquitectónico

Inspección Visual para Aceptación—ACI 301-20 Sección 6—Concreto Arquitectónico (Superficies de Concreto)	
Especificación Comparativa	
Maquetación de campo	Muestra de referencia
Anomalías Visibles en la Superficie	
Distancia de visualización de 20 pies (6 m) Visualizado a la luz del día	
Anomalías visibles en la superficie	
Anomalías estéticas	Anomalías físicas* (SF-3)
<ul style="list-style-type: none"> Color 	<ul style="list-style-type: none"> Agujeros mayores que 3/4" de ancho o 1/2" de profundidad
<ul style="list-style-type: none"> Textura 	<ul style="list-style-type: none"> Proyecciones más largas que 1/8"
	<ul style="list-style-type: none"> Agujeros de los listones de la cimbra
	<ul style="list-style-type: none"> Tolerancias a la superficie clase A
Aceptación	
Acorde con la maqueta aceptada o con la muestra de referencia	
Periódico	Final
Reparación	
Sí, ilimitada pero aceptación basada en maquetas de reparación	

*Inspección visual y medición para conformidad
Nota: 1" = 25 mm

El dilema de Tilt-Up: ¿Conflicto o compatible?

La Tabla 2 proporciona una comparación de los requisitos de la Especificación TCA³⁶ y ACI 301-20. La Especificación TCA cita a ACI 301. Por lo tanto, resulta interesante evaluar si las

dos especificaciones son compatibles o están en conflicto. Si las especificaciones contienen una cláusula de conflicto que requiere que se aplique la más estricta, sería interesante ver cómo el administrador del contrato de construcción manejaría esto.

Recomendaciones

Los autores alientan al Comité ACI 301, Especificaciones para la Construcción de Concreto, a establecer un grupo de trabajo para revisar y modificar los criterios para la inspección visual de la apariencia de superficies de concreto moldeadas y no moldeadas. Representantes de la Sociedad Estadounidense de Contratistas de Concreto (ASCC), PCI y TCA deberían reunirse con este grupo de trabajo para ayudar a establecer criterios que sean claros, concisos y expresados en lenguaje de especificaciones que no puedan ser malinterpretados. Un experto en iluminación también sería beneficioso para este grupo de trabajo.

Una estrategia, como se muestra en la Tabla 3, es resumir los criterios de inspección visual para cada elemento de concreto arquitectónico, como superficies moldeadas y no moldeadas coladas en el lugar, y paneles prefabricados levantados (Tilt-Up) colados en el lugar. El desarrollo y la comparación de estas tablas deberían ayudar a mantener la consistencia en el desarrollo de requisitos de inspección visual para el concreto arquitectónico.

Referencias

1. "Glancing Light," Technical Advice, Dulux, Australia, 2015, <https://www.dulux.com.au/applicator/technical-advice/preparation/glancing-light/>.
2. "Critical Light and Tips to Minimize Aesthetic Irregularities," Technical Bulletin, Master Builders Solutions, Shakopee, MN, 2 pp., <https://assets.construction-chemicals.mbcc-group.com/en-us/techbulletin-critical-light-minimize-irregularities.pdf>, accessed Apr. 22, 2024.
3. SunCalc®, <https://www.suncalc.org/#/27.6936,-97.5195,6/2024.01.18/14:42/1/3>, accessed Apr. 22, 2024.
4. "Sun Angle Calculator," Omni Calculator, <https://www.omnicalculator.com/physics/sun-angle>, accessed Apr. 22, 2024.
5. "NOAA Solar Calculator," National Oceanic and Atmospheric Administration, Global Monitoring Laboratory, Earth System Research Laboratories, <https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/>, accessed Apr. 22, 2024.
6. "Glancing Light," All Plastering Solutions, 12 pp., <https://allplasteringsolutions.com.au/wp-content/uploads/2012/08/Effects-of-Glancing-Light.pdf>, accessed Apr. 22, 2024.
7. Illumination and Decoration of Flat Surfaces, sixth edition, B. Cameron, ed., CSIRO Publishing, Clayton, Australia, Apr. 2009, 40 pp.
8. Paint and Plasterboard: A Guide to Best Practice Methods, third edition, Building Services Authority, Queensland, Australia, 2008, 28 pp., <https://awci.org.au/wp-content/uploads/2019/05/Standards-and-Guide-Paint-and-Plasterboard-A-Guide-to-Best-Practice-Methods.pdf>.
9. Industry Standards, Painting Contractors Association, Maryland Heights, MO, 2019, 111 pp.
10. "Glancing Light," Gyprock®, North Ryde, NSW, Australia, 2018, 12 pp., https://www.gyprock.com.au/-/media/gyprock/content/documents/install/finishing/gyprock-482-glancing_light-201808.pdf.
11. "Critical Light & Aesthetic Issues," Technical Bulletin TBO19, Parex USA, Inc., Anaheim, CA, 2 pp., <https://variancefinishes.com/techbulletins/common/TBO19-CRITICALLIGHTANDAESTHETICISSUESTBO19.pdf>, accessed Apr. 22, 2024.
12. "Visual Acceptance Parameters for Insulated Metal Panels (IMP) and Panel Systems," Metal Construction Association, Chicago, IL, 2017, 13 pp., <https://www.atas.com/wp-content/uploads/2019/07/1217-IMPVisual-Inspection-Guide.pdf>.
13. "The Effect of Light and Shadows on Masonry," Masonry Institute of America, Torrance, CA, 2012, 4 pp., <https://www.masonryinstitute.org/pdf/620-12.pdf>.
14. ASTM C1364-19, "Standard Specification for Architectural Cast Stone," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 3 pp.
15. CSI, "Inspection and Acceptance," Technical Bulletin #36, Cast Stone Institute, Hamilton, TX, 2017, 2 pp., http://www.caststone.org/bulletins/technical_bulletin_36_inspection-and-acceptance.pdf.
16. See, J.E., "Visual Inspection: A Review of the Literature," SANDIA Report SAND2012-8590, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, 2012, 76 pp., <https://www.osti.gov/servlets/purl/1055636>.
17. Moore, M.; Phares, B.; Graybeal, B.; Rolander, D.; and Washer, G., "Reliability of Visual Inspection for Highway Bridges, Volume I: Final Report," FHWA-RD-01-020, Federal Highway Administration, McLean, VA, 2001, 516 pp.
18. Moore, M.; Phares, B.; Graybeal, B.; Rolander, D.; and Washer, G., "Reliability of Visual Inspection for Highway Bridges, Volume II: Appendices," FHWA-RD-01-021, Federal Highway Administration, McLean, VA, 2001, 376 pp.
19. Megaw, E.D., "Factors Affecting Visual Inspection Accuracy," Applied Ergonomics, V. 10, No. 1, Mar. 1979, pp. 27-32.
20. Rao, P.; Bowling, S.R.; Khasawneh, M.T.; Gramopadhye, A.K.; and Melloy, B.J., "Impact of Training Standard Complexity on Inspection Performance," Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, V. 16, No. 1, Spring 2006, pp. 109-132.
21. Gallwey, T.J., "Evaluation and Control of Industrial Inspection: Part I—Guidelines for the Practitioner," International Journal of Industrial Ergonomics, V. 22, No. 1-2, Aug. 1998, pp. 37-49.
22. Jamieson, G.H., "Inspection in the Telecommunications Industry: A Field Study of Age and Other Variables," Ergonomics, V. 9, No. 4, 1966, pp. 297-303.
23. Gookins, E.F., "Section 23: Inspection and Test," Juran's Quality Handbook, fifth edition, J.M. Juran and F.M. Gryna, eds., McGraw-Hill, New York, NY, 1998.
24. Gallwey, T.J., and Drury, C.G., "Task Complexity in Visual Inspections," Human Factors, V. 28, No. 5, Oct. 1986, pp. 595-606.
25. Drury, C.G., and Wang, M.J., "Are Research Results in Inspection Task Specific?" Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, V. 30, No. 5, Sept. 1986, pp. 476-480.
26. ASTM E284-22, "Standard Terminology of Appearance," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 25 pp.
27. ASTM E1808-96(2021), "Standard Guide for Designing and Conducting Visual Experiments," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 8 pp.
28. ASTM E1499-16(2023), "Standard Guide for Selection, Evaluation, and Training of Observers," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023, 4 pp.
29. ACI Committee 311, "Guide for Concrete Inspection (ACI 311.4R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005, 14 pp.
30. ACI Committee 303, "Standard Specification for Cast-in-Place Architectural Concrete (ACI 303.1-97)(Withdrawn)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1997, 10 pp.
31. ACI Committee 303, "Guide to Cast-in-Place Architectural Concrete Practice (ACI 303R-12)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2012, 32 pp.
32. ACI Committee 301, "Specifications for Concrete Construction (ACI 301-20)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2020, 69 pp.

33. ACI Committee 347, "Guide to Formed Concrete Surfaces (ACI 347.3R-13) (Reapproved 2021)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2013, 17 pp.
34. "Manual for Quality Control for Plants and Production of Architectural Precast Concrete Products (MNL-117-13)," Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2013, 334 pp.
35. "Designer's Notebook: Acceptability of Appearance (DN-22-11)," Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2011, 8 pp.
36. "Guide Specification for Site-Cast Tilt-Up Construction, Section 034700, Site-Cast Tilt-Up Concrete," Tilt-Up Concrete Association, Mt. Vernon, IA, 2018, 18 pp.
37. "Pilkington Sun Angle Calculator Instruction Manual," Society of Building Science Educators, 21 pp., https://www.sbse.org/sites/sbse/files/uploads/documents/PSAC_Manual.pdf, accessed Apr. 22, 2024.
38. ACI Committee 228, "Visual Condition Survey of Concrete—Guide (ACI PRC-228.4-23)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2023, 29 pp.

El miembro de ACI, **James E. Klinger**, es un Especialista en Construcción de Concreto para la American Society of Concrete Contractors (ASCC) en St. Louis, MO, EE. UU. Es miembro de los Comités 134, Constructibilidad del Concreto y 318, Código de Construcción de Concreto Estructural. Además, es miembro del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias, y del Subcomité ACI 318-A, que aborda temas generales, de concreto y construcción. En 2020, fue galardonado con el Premio a la Construcción de ACI y en 2022 recibió el Premio ACI Roger H. Corbetta al Constructor de Concreto. Klinger obtuvo su maestría en ingeniería estructural de la Universidad de Maryland, College Park, MD, EE. UU.



Ron L. Kozikowski, miembro distinguido del ACI, es el Vicepresidente de North S.Tarr Concrete Consulting, P.C., Dover, NH, EE. UU., especializada en la resolución de problemas relacionados con la construcción de concreto. Cuenta con más de 20 años de experiencia como ingeniero de construcción y materiales. Kozikowski es miembro de los Comités C680, Certificación de Instalador de Anclajes Adhesivos; 207, Concreto Masivo y Controlado Térmicamente; 213, Agregado Ligero y Concreto; 301, Especificaciones para la Construcción de Concreto; 306, Concreto en Climas Fríos; y 308, Curado del Concreto; así como del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias. Obtuvo su licenciatura y maestría en ingeniería civil en la Universidad de New Hampshire, Durham, NH.



El miembro de ACI, **Tim I. Manherz**, es el vicepresidente de operaciones en Encore Concrete Construction, Houston, TX, EE.UU. Cuenta con más de 35 años de experiencia en la industria de la construcción, con más de 30 años dedicados a la industria del concreto. Es miembro de los Comités 302, Construcción de Pisos de Concreto; 330, Estacionamientos de Concreto y Pavimentación de Sitios; 360, Diseño de Losas Sobre el Terreno; y del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias. También es miembro de los Comités Técnicos y de Membresía de ASCC. Manherz se desempeñó como presidente de TCA en 2018 y fue incluido en el TCA College of Fellows en 2020. Además, recibió el Premio a la Construcción de ACI en 2020 y el Premio Internacional de Concreto de ACI en 2022.



Anthony R. DeCarlo, miembro distinguido del ACI, es el presidente y CEO de Dominion Concrete Services LLC en Cincinnati, OH, EE. UU. Cuenta con 30 años de experiencia en la industria como contratista de concreto en los mercados comerciales e industriales. Es presidente de los Subcomités 301-F, Concreto Arquitectónico - Sección 6, y 301-L, Tilt-Up Construction - Sección 12, de ACI; y miembro del Comité Asesor Financiero de ACI; Comités 301, Especificaciones para la Construcción de Concreto, y 330, Estacionamientos de Concreto y Pavimentación de Sitios; y del Subcomité 301-SC, Comité Directivo de ACI. Además, ha servido en la Junta Directiva de ACI y es miembro del Consejo de Becas de la Fundación ACI. DeCarlo también es vicepresidente de ASCC y forma parte de su Junta Directiva. Obtuvo su licenciatura en gestión de la construcción de la Universidad de Cincinnati, Cincinnati, OH.



Bruce A. Suprenant, miembro distinguido del ACI, es el presidente del Subcomité 117-M de ACI, Movimientos que Afectan Tolerancias, y vicepresidente del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias, además de ser miembro de los Comités 134, Constructibilidad del Concreto, y 302, Construcción de Pisos de Concreto, de ACI. Sus distinciones incluyen el Premio Internacional de Concreto de ACI 2022, la Medalla Arthur R. Anderson de ACI 2021, el Premio a la Construcción de ACI 2020, el Premio a la Certificación de ACI 2013, el Premio al Constructor de Concreto Roger H. Corbetta de ACI 2010, y el Premio a la Construcción de ACI 2010.



Título original en inglés:
**Visual Inspection of Architectural
Concrete Surface Appearance.
Commentary on current concrete
industry practice**

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



Traductor:
**Jesús Omar
Montaña Montaña**
*Estudiante Ing. Civil
Universidad de Sonora*



Revisor Técnico:
**Ing. Óscar
Ramírez Arvizu**