

Acceptance Testing of Hardened Concrete

Q. *As the engineer of record, why should I care who does the testing on my projects?*

A. Acceptance testing is a critical part of quality assurance. ACI CODE-318-19(22), Section 26.12.1.1,¹ requires the evaluation of hardened concrete on the basis of strength tests. The concrete must be sampled in accordance with ASTM C172/C172M² at the point of delivery, handled and cured in accordance with ASTM C31/C31M,³ and tested in accordance with ASTM C39/C39M.⁴ Further, the agency performing these tests must comply with ASTM C1077.⁵ Personnel supervising or performing testing services must possess current certifications pertinent to the indicated standards, and they must be under the full-time technical direction of a licensed professional engineer with at least 5 years of relevant experience.

In other kinds of testing, deviations from the standard test method may bias the results, either high or low. In concrete compressive strength testing, just about every kind of error causes the results to be artificially low.

ACI CODE-318-19(22), Section 26.12.3.1, requires the strength to meet two criteria:

- The average of any three consecutive strength tests is at least f'_c ; and
- No single test falls below f'_c by more than 500 psi for f'_c of 5000 psi or less, or by more than $0.10f'_c$ if f'_c is greater than 5000 psi.

If either of these requirements is not met, steps must be taken to increase subsequent strength test results. For example, the concrete producer may increase the cement content or reduce the water-cementitious materials ratio (w/cm). If a test fails by the second criterion, however, you and the building official will need to evaluate the in-place strength of the affected portion of the structure. This may be done by using in-place testing (refer to ACI PRC-228.1-19⁶) to allow comparisons within the structure or, in the extreme case, by

determining the compressive strength of cores taken from the structure. Either will consume your time and delay the project. It's one thing if the concrete is indeed below strength—that is, the test result was valid. But what if the result is low because the testing was substandard? Wouldn't you prefer not to waste all that time and money?

It's a good idea to review the standards occasionally to remind yourself of the particulars. Initial (on-site) curing of the cylinders must prevent moisture loss and maintain the temperature within the specified range. This factor is the single biggest cause of low-strength test results. However, there are plenty of other possible contributing factors. The sample must comprise two or more portions taken during discharge of the middle portion of the batch, and test cylinders must be produced within 15 minutes after the portions are combined and remixed with a shovel. Transport of the cylinders to the lab must take place within 48 hours of casting and not take longer than 4 hours from site to lab. Because they are just beginning to gain strength, the cylinders are vulnerable to mishandling and extreme temperatures—especially if they contain fly ash or slag cement. Once in the lab, they must be kept moist and at the right temperature. Capping and testing procedures must be followed correctly. And all the necessary data must be reported.

Doing all these things consistently in accordance with the standards requires qualified personnel and a good quality control program. That's what ASTM C1077 is for. It specifies the qualifications of the agency's personnel as well as the requirements for record keeping and proficiency sample testing. Labs that comply with ASTM C1077 have to charge more to cover their costs, but good testing services cost far less in the long run.

Questions in this column were asked by users of ACI documents and have been answered by ACI staff or by a member or members of ACI technical committees. The answers do not represent the official position of an ACI committee. Comments should be sent to keith.tosolt@concrete.org.

ACI PRC-132.1-22⁷ details the responsibilities of caring for concrete specimens for acceptance testing. As the engineer of record, you should make sure that the construction documents specify who's responsible for the initial curing of test cylinders, whether that's the contractor or the testing agency. Ideally, initial curing will be a pay item in the contract.

You should also specify that the testing agency meets the requirements of ASTM C1077 and verify that all of the technicians on the project have current certifications. You should spell out that the test reports include everything required by ASTM C31/C31M and C39/C39M, and that they document where in the structure the concrete was placed. That way if you do have to investigate low strengths, you'll know which areas are suspect.

By the way, according to ACI CODE-318-19(22), Commentary Section R26.12.1.1(a), a compressive strength test comprises at least two 6 x 12 in. or at least three 4 x 8 in. cylinder breaks. Many labs break a single cylinder at 7 days "for information." However, one cylinder break is meaningless by itself. If you want to know the strength, specify a test, not a single break.

Once the technician is on site, casting an additional cylinder or two isn't much extra effort. The real cost is in performing the additional tests. But sometimes a spare, unbroken cylinder can be worth its weight in gold. If you have to discard a faulty cylinder, you still have enough for a test. Or, if you have to investigate low strengths, that extra cylinder could provide a lot of useful information to a petrographer. Either way, you could get your answers without having to core. Specifying an extra cylinder for each set could save you a lot of trouble later.

The general contractor should schedule a pre-placement meeting to discuss responsibilities for curing and handling of test specimens. NRMCA's "Pre-Construction Checklist"⁸ can help you remember everything you need to cover in that meeting. It includes which concrete mixtures will be delivered to the site, the acceptance criteria for each, and who is authorized to accept or reject it. It also covers the frequency of testing and which tests to conduct, the details of standard curing in the field, and who's responsible for which items.

This meeting would be a good opportunity to let the testing agency know where to send copies of the reports and to emphasize the importance of timely reporting. The sooner you know how things are going, the sooner you can make necessary adjustments. ACI CODE-318-19(22), Section 26.12.1.1 (f), requires that all acceptance test reports be sent to the licensed design professional, the contractor, the concrete producer, and, if requested, the owner and the

building official.

In markets where substandard testing is the norm, concrete producers design their concrete for a higher target strength just to ensure that it passes the test. Usually, that means adding more cement than would otherwise be necessary. Naturally, that adds to the cost of the concrete. In times of cement shortage, it also makes concrete less available. And it increases the carbon footprint of the concrete.

Some overdesign is necessary and prudent, but excessive overdesign can detract from performance. The extra cement can contribute to thermal cracking in mass concrete, or it can increase the shrinkage, making the concrete more prone to cracking. It can also increase the tendency to creep, leading to loss of post-tensioning or increased deflections.

Reliable testing is essential. You can help make it happen by specifying who is responsible for the initial curing, requiring the lab to comply with ASTM C1077, understanding the particulars of the test methods, and promptly reviewing the test reports.

References

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI CODE-318-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
2. ASTM C172/C172M-17, "Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 3 pp.
3. ASTM C31/C31M-22, "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 7 pp.
4. ASTM C39/C39M-21, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 8 pp.
5. ASTM C1077-17, "Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 9 pp.
6. ACI Committee 228, "Report on Methods for Estimating In-Place Concrete Strength (ACI PRC-228.1-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 52 pp.
7. ACI Committee 132, "Responsibility for the Care of Test Specimens for Acceptance of Concrete—TechNote (ACI PRC-132.1-22)," American Concrete Institute, 2022, 5 pp.
8. "Pre-Construction Checklist: Concrete Acceptance Testing," National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 2021, 5 pp., www.nrmca.org/wp-content/uploads/2021/06/4ConcreteAcceptanceTestingChecklist.pdf.

Thanks to Rachel J. Detwiler, Beton Consulting Engineers, Minneapolis, MN, USA, for providing the answer to this question.

Preguntas y Respuestas

Las preguntas de esta columna fueron formuladas por usuarios de los documentos de ACI y han sido respondidas por el personal de ACI o por un miembro o miembros de los comités técnicos de ACI. Las respuestas no representan la posición oficial de un comité de ACI. Los comentarios deben enviarse a keith.tosolt@concrete.org.

Pruebas de aceptación del concreto endurecido

P

Como ingeniero a cargo, ¿por qué debería interesarme quién realiza las pruebas en mis proyectos?

R

Las pruebas de aceptación son una parte fundamental para garantizar la calidad. El código para Concreto Estructural ACI 318-19(22), Sección 26.12.1.1¹, requiere la evaluación del concreto endurecido mediante ensayos de resistencia. El concreto debe ser muestreado, de acuerdo con la norma ASTM C172/C172M² en el punto de entrega, manipulado y curado de acuerdo con la norma ASTM C31/C31M³ y ensayado de acuerdo con la norma ASTM C39/C39M⁴. Asimismo, la empresa que realice estos ensayos deberá cumplir con la norma ASTM C1077⁵. El personal que supervise o realice las pruebas debe contar con las certificaciones pertinentes para los estándares indicados, y deben estar bajo la dirección técnica a tiempo completo de un ingeniero profesional con al menos cinco años de experiencia en la materia. En otros tipos de ensayos, las desviaciones del método de ensayo estándar pueden sesgar los resultados, ya sean altos o bajos. En los ensayos de resistencia a la compresión del concreto, casi cualquier tipo de error ocasiona que los resultados sean artificialmente bajos. El código para Concreto Estructural ACI 318-19(22), Sección 26.12.3.1, requiere que la resistencia cumpla con dos criterios:

- El promedio de tres ensayos de resistencia consecutivos, cualesquiera, es de como mínimo la resistencia especificada a la compresión del concreto ($f'c$); y
- Ninguna prueba individual queda por debajo de la $f'c$ en más de 500 psi para una $f'c$ de 5000 psi o menos; o en más de 0.10 de la $f'c$ si la $f'c$ es superior a 5000 psi.

Si no se cumple alguno de estos requisitos, deben tomarse medidas para aumentar los resultados de los ensayos de resistencia posteriores. Por ejemplo, el fabricante de concreto puede incrementar el contenido de cemento o reducir la relación de agua - materiales cementantes (a/mc). Sin embargo, si un ensayo falla por el segundo criterio, usted y la autoridad competente requerirán evaluar la resistencia en el lugar de la parte afectada de la estructura. Este procedimiento puede ejecutarse utilizando ensayos in situ (consulte ACI PRC-228.1-19⁶) para permitir comparaciones dentro de la estructura o, en el caso extremo, determinando la resistencia a la compresión de los núcleos extraídos de la estructura. Cualquiera de las dos opciones le consumirá tiempo y retrasa el proyecto. Una situación es que el concreto esté efectivamente por debajo de su resistencia, es decir, el resultado del ensayo era válido. Pero ¿y si el resultado es bajo porque el ensayo no era de calidad? ¿No preferiría no perder todo ese tiempo y dinero?

Es una buena idea revisar las normas, ocasionalmente, para que recuerde los detalles. El curado inicial (in situ) de los cilindros debe evitar la pérdida de humedad y mantener la temperatura dentro del intervalo especificado. Este factor es la principal causa de los resultados de ensayos de baja resistencia. No obstante, hay muchos otros posibles factores que pueden intervenir. La muestra debe comprender dos o más porciones tomadas durante la descarga de la mitad de la porción del lote, y los cilindros de ensayo deben producirse en los quince minutos siguientes a la combinación de las porciones y su remezcla con una pala. El transporte de los cilindros al laboratorio debe efectuarse en las 48 horas siguientes al vaciado y no debe tardar más de 4 horas desde el sitio al laboratorio. Como recién están empezando a ganar resistencia, los cilindros son vulnerables a la manipulación incorrecta y a las temperaturas extremas, especialmente, si contienen cenizas volantes o cemento de escoria. Una vez en el laboratorio, deben mantenerse húmedos y a la temperatura adecuada. Deben seguirse correctamente los procedimientos de refrentado y ensayo. Además, todos los datos necesarios deben ser reportados. Para realizar todo esto de forma coherente y conforme a las normas se necesita de personal calificado y un buen programa de control de calidad. Por esa razón, se cuenta con la norma ASTM C1077. Esta norma especifica las cualificaciones del personal de la agencia, así como los requisitos para el registro de datos y dominio en los ensayos de muestras. Los laboratorios que cumplen la norma ASTM C1077 tienen que cobrar más para cubrir sus costos, pero los buenos servicios de ensayos cuestan mucho menos a largo plazo.

La norma ACI PRC-132.1-22⁷ detalla las responsabilidades del cuidado de los especímenes de concreto para la aceptación de los ensayos. Como el ingeniero a cargo, usted debe asegurarse de que los documentos de obra especifiquen quién es el responsable del curado inicial de los cilindros de ensayo, ya sea el contratista o la agencia de ensayos. Lo ideal es que el curado inicial sea un elemento de pago en el contrato.

Usted también debe especificar que la agencia de ensayos cumpla con los requisitos de la norma ASTM C1077 y verificar que todos los técnicos del proyecto tengan las certificaciones vigentes.

Además, debe especificar que los informes de ensayo incluyan todo lo exigido por la norma ASTM C31/C31M y la C39/C39M, y que documenten en qué parte de la estructura fue colocado el concreto. De este modo, si tiene que investigar bajas resistencias, usted sabrá qué zonas son sospechosas.

A propósito, según el código para Concreto Estructural ACI 318-19(22), Comentario Sección R26.12.1.1(a), un ensayo de resistencia a la compresión comprende al menos dos roturas de cilindro de 6 x 12 pulgadas o al menos tres de 4 x 8 pulgadas. Muchos laboratorios rompen un solo cilindro a los 7 días "como información". Sin embargo, una rotura de cilindro no tiene sentido por sí misma. Si desea conocer la resistencia, especifique un ensayo, no una sola rotura.

Una vez que el técnico está in situ, conformar uno o dos cilindros más, no es un gran esfuerzo adicional. El costo real está en realizar las pruebas adicionales. Pero a veces un cilindro adicional sin ensayar puede valer su peso en oro. Si tiene que descartar un cilindro defectuoso, usted aún tendría los suficientes para un ensayo. O, si tiene que investigar resistencias bajas, ese cilindro extra podría proporcionar mucha información útil a un petrógrafo. En cualquier caso, podría obtener sus respuestas sin tener que obtener núcleos. Especificar un cilindro adicional para cada conjunto podría ahorrarle muchos problemas más adelante.

El contratista general debe programar una reunión previa a la colocación para discutir las responsabilidades del curado y la manipulación de los especímenes de ensayo. La "lista de verificación previa a la construcción"⁸ de la NRMCA (por sus siglas en inglés) puede ayudarle a recordar todo lo que debe tratar en esa reunión. Esta incluye qué mezclas de concreto se entregarán en la obra, los criterios de aceptación de cada una y quién está autorizado de aceptarlas o rechazarlas. También abarca la frecuencia de los ensayos y cuáles ensayos hay que realizar, los detalles del curado estándar en obra y quién es responsable de cada actividad.

Esta reunión sería una buena oportunidad para comunicar a la empresa encargada de los ensayos dónde enviar las copias de los informes y para enfatizar en la importancia de reportar a tiempo. Cuanto antes sepa cómo van las cosas, más pronto podrá hacer los ajustes necesarios. El

código para Concreto Estructural ACI 318-19(22), Sección 26.12.1.1 (f), exige que todos los informes de los ensayos de aceptación se envíen al profesional de diseño autorizado, al contratista, al productor de concreto y, si es solicitado, al propietario y a la autoridad competente.

En los mercados donde los ensayos de calidad inferior son la pauta habitual, los productores de concreto diseñan su mezcla para una resistencia objetivo más alta, con el fin de asegurarse de que apruebe el ensayo. Normalmente, eso significa añadir más cemento del que sería necesario. Naturalmente, esto aumenta el costo del concreto. En tiempos de escasez de cemento, también hace que se encuentre menos disponible. Además, ello aumenta la huella de carbono del concreto.

Un sobredimensionamiento es necesario y prudente, pero un sobredimensionamiento excesivo puede afectar su rendimiento. El cemento extra puede contribuir a la fisuración térmica del concreto en masa, o puede aumentar la retracción, haciendo que sea más propenso a la fisuración. También puede aumentar la tendencia a la fluencia, provocando la pérdida de postensado o el aumento de las deformaciones.

Es esencial que las pruebas sean fiables. Usted puede contribuir a que así ocurra, especificando quién es el responsable del curado inicial, exigiendo al laboratorio que cumpla la norma ASTM C1077, comprendiendo las particularidades de los métodos de ensayo y revisando puntualmente los informes de ensayo.

Referencias

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI CODE-318-19) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
2. ASTM C172/C172M-17, "Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 3 pp.
3. ASTM C31/C31M-22, "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, 7 pp.
4. ASTM C39/C39M-21, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, 8 pp.
5. ASTM C1077-17, "Standard Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 9 pp.
6. ACI Committee 228, "Report on Methods for Estimating In-Place Concrete Strength (ACI PRC-228.1-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 52 pp.
7. ACI Committee 132, "Responsibility for the Care of Test Specimens for Acceptance of Concrete—TechNote (ACI PRC-132.1-22)," American Concrete Institute, 2022, 5 pp.
8. "Pre-Construction Checklist: Concrete Acceptance Testing," National Ready Mixed Concrete Association, Alexandria, VA, 2021, 5 pp., <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2021/06/4ConcreteAcceptanceTesting>.

Gracias a Rachel J. Detwiler, Beton Consulting Engineers, Minneapolis, MN, Estados Unidos, por facilitar la respuesta a esta pregunta.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Perú

*Título: Preguntas y Respuestas.
Pruebas de aceptación del concreto endurecido*



*Traductor:
Luis Angel
Cubas*



*Revisora Técnica:
Ing. Paula Rojas
Julián*