

PRUEBAS NO  
DESTRUCTIVAS  
DEL CONCRETO

Las  
**ESTRUCTURAS**  
no son eternas

JOSÉ DANIEL DÁMAZO JUÁREZ\*

Las estructuras de concreto también envejecen, y hoy sabemos que no son eternas, pues tienen una vida finita, y que en mayor o menor proporción su vigencia está en función de los múltiples factores que les afectan cotidianamente.



La patología de las estructuras de concreto es uno de los temas que más se ha estudiado durante los últimos años. Las evaluaciones de las estructuras que han sufrido algún siniestro, un cambio de uso o destino, o cuyo concreto tiene una resistencia incierta se presentan con mucha frecuencia.

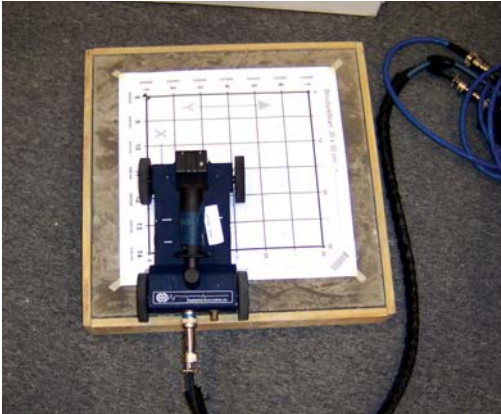
En estos casos, la estimación de la calidad y la seguridad de servicio que la estructura puede seguir brindando a los usuarios no está necesariamente ligada, única y de manera exclusiva a la resistencia a compresión del concreto y por ello se requieren las evaluaciones, tanto del concreto como de los elementos estructurales a través de las llamadas «pruebas no destructivas», las cuales hoy en día se han convertido en una alternativa importante para establecer los parámetros de la seguridad estructural de las obras civiles en general.

Las ventajas de los ensayos no destructivos, que el ACI 228.2 define como aquellas pruebas que no causan daño estructural significativo en el concreto, radican en su relativa simplicidad, rapidez y en la posibilidad de realizar un gran número de determinaciones sobre la estructura sin alterar su resistencia y funcionalidad a un relativo bajo costo. De esta manera es factible evaluar la homogeneidad de la misma sin comprometer su integridad, como sí sucede cuando, eventualmente, en casos muy particulares la aplicación de las pruebas destructivas son una opción necesaria.

**CUÁL Y CUÁNDO**

Existen diferentes «pruebas no destructivas», con aplicaciones distintas, por lo que se debe establecer una clara diferencia para conocer en qué casos debe





hacerse una u otra y lo que se puede esperar de cada una. Algunas de las condiciones que hace necesario al aplicar las «pruebas no destructivas» se suscitan cuando en obra los cilindros de prueba no dieron los resultados satisfactorios y su evaluación estadística deja duda en ciertos elementos críticos de la estructura, o el que las condiciones en que se tuvieron los cilindros en campo no fueron las adecuadas en tiempo y forma, o simplemente para determinar la oportunidad para el descimbrado o postensado o las malas prácticas de colocación, vibrado o curado del concreto.

El objetivo principal del presente trabajo es revisar la factibilidad y las limitaciones para la aplicación de diferentes métodos o «pruebas no destructivas», como procedimientos de evaluación de las estructuras de concreto, desde el punto de vista del comportamiento del mismo bajo las condiciones en que se encuentra en la estructura.

- **Evaluación del control de calidad de una obra nueva:** como parte de un proceso constructivo planeado o parte del aseguramiento de la calidad de la obra y sus concretos se observa la necesidad de implementar sistemas o pruebas diferentes a las tradicionales, y a la práctica común esto hace necesario dotar de la herramienta adecuada al personal de supervisión y que se apliquen, finalmente, las normas y códigos especificados cuando hay dudas sobre la resistencia a compresión de los concretos, la ubicación del acero de refuerzo y/o la determinación del diámetro del mismo, identificación de posibles fallas por procesos constructivos, oquedades, y otros tipos de fallas, o como una segunda opción la verificación de la calidad.

- **Evaluación de estructuras ya existentes o viejas para su rehabilitación y/o modificación:** determinación de la resistencia a compresión o del módulo de elasticidad del concreto, ubicación de acero de refuerzo o tendones de presfuerzo, determinación de grados de corrosión en el acero de refuerzo, determinación de la permeabilidad del concreto, determinación de la carbonatación del concreto o ataques químicos, valorar aspectos de durabilidad



del concreto en sitio y otros tipos de fallas, así como poder dar un dictamen de factibilidad o condiciones en que se encuentra la construcción y que finalmente se tomarán decisiones de un posible uso, reparación o demolición de la estructura dependiendo del dictamen o inclusive el cambio de uso del inmueble.

• **Efectos de procesos constructivos en la resistencia final:** efecto en el concreto y en la estructura resultante por retiro prematuro de cimbras, por tensado prematuro de los cables de presfuerzo, fallas o huecos por mala colocación o vibrado, sobre trabajos en acabados o curados deficientes, ataque por agentes químicos o por medio ambiente, congelamiento del concreto fresco o excesiva pérdida de humedad, etc. Problemas comunes que se presentan durante la construcción y que se requiere de una evaluación posterior para la verificación de la calidad de la obra o del concreto y como parte de un proceso aclaratorio de resultados de dudosa evaluación.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS MÉTODOS DE PRUEBA

Los ensayos o «pruebas no destructivas» nos ayudarán a hacer un diagnóstico rápido y confiable sobre el estado que guarda una estructura y sus materiales componentes, así como lo que podamos esperar de ésta ante solicitaciones futuras. Por tanto, es necesario conocer:

- Los métodos de ensaye más comunes, sus aplicaciones y sus alcances.
- Su eficacia y alcances relativos.
- Los costos de las diversas pruebas.
- Qué aplicación tiene cada método.
- Cuando no es aplicable ningún método.

Se han clasificado en cuatro áreas:

#### 1. Absolutamente no destructivas

• La inspección visual. Usualmente es el primer paso. No requiere de equipo especializado, pero sí de personal con experiencia y conocimientos de construcción, materiales e ingeniería estructural. Bien realizada puede arrojar información que lleve a identificar las causas de los daños observados. Sus resultados son subjetivos.

Es muy conveniente elaborar un plan previo. Su costo es mínimo. No se cuenta con una normativa, aunque sí guías para su ejecución (ACI-201.1, ACI-207.3).

• **Medición de grietas,** Complementa la inspección visual. Da una mejor definición en las zonas problemáticas detectadas en la inspección visual. Hay en el mercado micas y aparatos para medir el espesor y la profundidad de las grietas de manera aproximada. Otros dispositivos hechos con fibra óptica iluminan los fondos de las grietas para observarlos de manera ampliada. También, hay dispositivos para medir el cambio en el espesor de las grietas en el tiempo (testigos). Es útil para definir posibles daños o efectos de los agrietamientos. No se dispone de una normativa para ésta y sus resultados son poco precisos. Permite establecer las probables causas de los agrietamientos, dimensiones, su ubicación, patrones y dirección. Su costo es mínimo.

• **El esclerómetro o martillo de rebote.** Prueba comparativa. Requiere de equipo especial y de personal capacitado, así como de una correlación ya sea con superficies adyacentes o similares o concretos testigos. Debe aplicarse en superficies sanas, lisas, limpias y sin recubrimiento. Su precisión es baja por lo que se maneja una alta incertidumbre. El resultado puede variar por muchas razones, como son la humedad, el curado, TMA, etc. Útil para detectar transiciones o cambios en el comportamiento del concreto. Excelente para determinar zonas para realizar otro tipo de pruebas como la extracción de corazones. Norma ASTM C-805-02. Tiene un bajo costo de ejecución.

• **Velocidad de transmisión de ultrasonido.** Consiste en medir la velocidad de transmisión de una onda de ultrasonido a través de la masa de concreto. Requiere equipo especializado y personal capacitado. Es una prueba rápida y fácil de ejecutar. Hay una correlación más o menos confiable con la resistencia del concreto y su módulo de elasticidad y masa. Sin embargo, no es muy sensible a la ganancia de resistencia, ni al desarrollo de madurez del concreto. Se ve afectada en su re-



sultado con la presencia de huecos o burbujas, grietas, acero de refuerzo e instalaciones o elementos metálicos embebidos en el concreto ensayado. De aplicación normal en el medio es un ensaye relativamente económico. Útil para identificar grietas y vacíos en el concreto. Norma ASTM C-597-02.

- Detección del acero de refuerzo e instalaciones. Una prueba sencilla, pero requiere de equipo especializado y de personal capacitado para su ejecución. Es muy útil para localizar el acero de refuerzo como apoyo a otro tipo de ensayos como la extracción de corazones, y la determinación del índice de rebote y ultrasonido, pues permite ubicar los equipos de estas pruebas en zonas libres de acero o instalaciones. Útil para determinar diámetros de los elementos de refuerzo y los espesores de recubrimiento. Prueba relativamente económica y complementaria para otros ensayos no destructivos. Sus resultados tienen alto grado de incertidumbre. No hay norma para su ejecución.

- Medición de la madurez del concreto. Esta prueba cuantifica la relación madurez-resistencia en el concreto fresco y endurecido, así como el ritmo de endurecimiento o de adquisición de madurez (temperatura histórica). Requiere de personal con experiencia en su aplicación, equipo especial y muestras previas de los concretos a evaluar. Es muy importante verificar los resultados con cilindros estándar. Arroja buenos resultados, pero no es aceptada universalmente en el medio. Es un ensaye caro. Norma ASTM C-1074-98.

- Prueba de rayos X, detección de ubicación y dimensiones del acero de refuerzo, densímetro nuclear para pavimentos, y otras.

## 2. Pruebas con mínimo efecto destructivo

- Resistencia del concreto a la penetración. Pistola de Windsor. Requiere de equipo especial, así como de personal capacitado y entrenado. Norma ASTM C-803-03. Consiste en lanzar tres elementos metálicos impulsados por la carga determinada de pólvora con una pistola. La determinación de la calidad del concreto

está en función de la longitud promedio que los insertos penetren en el concreto midiendo la parte externa de estos usando una placa triangular.

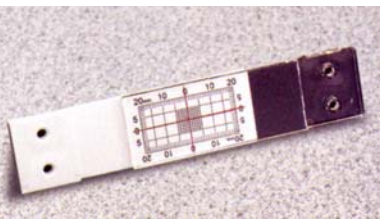
- Extracción de insertos o de *Pull-out*. Prueba de poco uso. Requiere de equipo especial y de personal capacitado. Debe ser planeada antes de la colocación del concreto, pues consiste en dejar ahogados en el concreto insertos metálicos parecidos a un hongo con una perforación roscada. Al llegar la edad de determinación de la resistencia se extrae el inserto usando un gato hidráulico que cuenta con dispositivos especiales de anclaje y medición de la fuerza de extracción ejercida para extraer el inserto. La resistencia del concreto estará en función de la presión requerida para extraer el inserto. Esta prueba se ve limitada a elementos en proceso de colado. Se acepta colocar los insertos en el concreto fresco, pero se deben tener ciertas precauciones para no afectar la calidad del concreto adyacente. Norma ASTM C-900-01.

- Análisis petrográficos de concreto endurecido. Se requieren trozos del concreto a evaluar, equipo especializado, personal con experiencia y capacitación. Prueba relativamente cara dada la preparación de las muestras. Genera cierto daño en el elemento, pues deben tomarse trozos del concreto en cuestión. Prueba muy útil para conocer múltiples datos del concreto como el contenido de aire, la falta de curado, de vibrado, presencia o ausencia de algunos materiales componentes del concreto como *fly ash*, puzolana, humo de sílice, etc., distribución del cemento en el concreto, así como sus posibles efectos nocivos al concreto. Se rige por la Norma ASTM C-856-04.

## 3. Pruebas ligeramente destructivas

- Extracción de núcleos y/o vigas, determinación de la densidad y humedad del concreto, de la adherencia, de la carbonatación, de la corrosión y de la permeabilidad. Prueba relativamente económica, requiere de equipo y de personal capacitado. Se extrae un mínimo de tres núcleos por cada zona a evaluar. El diámetro de los núcleos





debe ser de 3" mínimo dependiendo del tamaño máximo de los agregados del concreto. Debe evitarse el corte de acero de refuerzo o instalaciones. Los resultados obtenidos son confiables. El proceso de curado y secado debe ser apegado a la norma. Norma ASTM-C-042-03.

- Determinación de la humedad y densidad del concreto. Se requiere de un densímetro nuclear, personal certificado y capacitado en el manejo del equipo y de material radiactivo. Conocer el peso volumétrico del concreto a evaluar. El equipo se auto-calibra sobre su block por cuatro minutos. Mediante un orificio en el concreto se obtienen las lecturas del aparato, introduciendo el brazo del mismo en el concreto. El equipo da como resultado tiempo, peso volumétrico húmedo en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ , precisión de cada medición, porcentaje respecto del peso volumétrico máximo, peso volumétrico máximo en  $\text{gr}/\text{m}^3$ . Norma ASTM C-1040-93.

- Determinación de la adherencia. Se requiere equipo para medir el esfuerzo a tensión y personal capacitado. Se pule la superficie del concreto y se marca para pegar el disco de prueba que puede ser de 7.5, 10 o 12.4 cm. Se pega el disco al concreto con un adhesivo de mayor resistencia que la esperada en el concreto a tensión, se fija el aparato al disco, se aplica la fuerza a tensión, conocida la fuerza de tensión y el área del disco, se calcula la adherencia del concreto como un esfuerzo.

- Determinación de la carbonatación. Prueba química. Requiere de materiales especiales y de personal capacitado para su ejecución. Se utiliza para diagnóstico. Se puede realizar rápidamente en campo y se basa en cambios de color producidos en la superficie del concreto por el agente reactivo. Empleando fenolftaleína sobre el concreto a ensayar se observan los cambios de coloración que se producen. Si el concreto se colorea violeta indica PH aceptable, pero si no varía de color, indica una carbonatación y su PH será menor a 8.5.

- Determinación de la corrosión. Prueba electroquímica. Requiere de equipo y personal capacitado, emplea electrodos

de plata para una mejor medición, tiene un tiempo de lectura rápido. Permite hacer lecturas en superficies regulares, irregulares o alabeadas. Cuenta con *software* para procesar datos y obtener resultados. Para hacer conexión al acero de refuerzo es necesario hacer barrenos de 13 mm de diámetro. Norma ASTM C-876-99.

- Determinación de la permeabilidad. Una prueba electroquímica. Requiere de equipo y personal capacitado. La duración de la prueba es de seis horas, se pueden ensayar ocho especímenes a la vez, la unidad de medición es en Columbo. La permeabilidad es por medición de la penetración de los iones-cloruro en la muestra de concreto. Se produce un ligero deterioro al extraer los núcleos de concreto. Norma ASTM C-1202-97.

- Arranque de cilindros colados in situ o *Brake Off*. Consiste en obtener un cilindro de concreto del cuerpo de la estructura, previamente preparado. Los especímenes son de 55 mm de diámetro por 70 mm de altura y son colados dentro en el elemento de concreto por medio de una camisa plástica desechable que se inserta (en el concreto) durante el colado y se extrae antes de la prueba. El espécimen también puede formarse mediante el uso de una broca para corazones.

Se hace una muesca en los bordes del concreto para apoyar el dispositivo de presión. Se aplica una fuerza lateral al cilindro para romper el núcleo en el fondo y prepararlo del elemento estructural. La fuerza aplicada ayuda a calcular la resistencia a flexión, del concreto. Norma ASTM-C-1150-92 (descontinuada en 2002).

- Cilindros colados *in situ*. Se obtienen cilindros colados *in situ* directamente de las losas. Se deja un molde en la cimbra y se llena junto con la losa durante el colado. Los cilindros se someten a las mismas condiciones que el elemento colado. Puede requerir correcciones por esbeltez en sus resultados. Sirve para conocer con mayor grado de certidumbre la resistencia real del concreto en elemento colado. Sólo se aplica a losas planas horizontales y requiere de preparación previa. Obliga a reparar la superficie y el elemento donde se

colocaron los moldes. Ensaye de poca aplicación en el medio. Norma ASTM-C-873-99.

#### 4. Pruebas que pueden ser destructivas

Pruebas de carga y deformación: requiere de personal capacitado y equipo especializado. La prueba consiste en cargar el elemento a evaluar con 85% de la carga de diseño. La carga se aplica en fracciones de 25% y se toman lecturas de deformación en cada etapa y la final. El elemento se deja cargado 24 horas y se mide de nuevo la deformación. Se descarga y se mide la recuperación del elemento, volviéndose a determinar la deformación a las 24 horas de descargado. Si el elemento se recupera a 75% o más de la deformación total y no se aprecian daños, agrietamientos, desprendimiento de concreto o fallas en el mismo, se da por concluida la prueba. Si la recuperación no llega a 75% se esperan 72 horas para medir la recuperación. No hay una norma específica. Se ofrecen guías para su ejecución en el ACI-318-05. Ensaye caro.

### INVESTIGACIÓN Y EVALUACIÓN

No se debe dejar de mencionar las pruebas para evaluar la durabilidad de las estructuras que independientemente de su uso o aplicación se pueden clasificar en alguno de los cuatro puntos descritos con anterioridad y son:

- Análisis petrográfico en concretos nuevos y viejos.
- Prueba para determinar la carbonatación en estructuras existentes.
- Determinación de la permeabilidad al Ion Cloruro (RCPT).
- Determinación de la corrosión.
- Y otras más.

Dependiendo de la estructura o proyecto a analizar es muy importante planear un sistema de identificación que permita establecer, posteriormente, la secuencia de las distintas técnicas de pruebas a emplear a modo que se avance, en base a los resultados de pruebas previas, y de ser necesario a un tipo de pruebas cada vez más destructivo.

Así, para la evaluación de algún elemento de calidad dudosa, el proceso de investigación y evaluación de la estructura debe iniciar con una inspección visual del elemento, la identificación del problema, la selección del o de los métodos más adecuados a aplicar, considerando para esto su eficacia en términos de los resultados a obtener, la facilidad de la aplicación, la aceptación del método por las partes involucradas, la seguridad o confianza de los resultados por obtener, el tiempo de ejecución y el costo del ensaye.

Por otra parte, antes de iniciar cualquier proceso se deben establecer claramente con todas las partes involucradas el alcance de la investigación para que al terminar con el análisis de datos y realizar la presentación de reporte final, todos queden plenamente satisfechos. Como una guía general se puede tomar los siguientes puntos:

1. - Identificación del problema.
2. - Selección de las variables a comprobar.
3. - Definición del alcance de la prueba.
4. - Selección de los métodos a utilizar.
  - Eficacia de las pruebas.
  - Facilidad de aplicación.
  - Aceptación de las partes involucradas.
- \* Conocimiento de los resultados que las pruebas pueden arrojar y su grado de certidumbre.
  - Costos de los ensayes, de sus reportes e interpretaciones.
5. -Elaboración de programa de trabajo.
6. -Ejecución del trabajo de campo y gabinete.
7. -Análisis de datos y reporte final o evaluación.
8. -Acciones correctivas y preventivas.

### CORRELACIÓN DE RESULTADOS

Es muy importante que del o de los métodos empleados en la evaluación siempre exista una buena correlación de resultados y se considere toda la información disponible.

Por ejemplo, el esclerómetro es una herramienta útil para identificar zonas débiles dentro de un elemento estructural y por lo tanto ayuda a definir los sitios precisos donde se debe hacer un muestreo



con extracción de núcleos o alguna otra prueba no destructiva, la correlación de las lecturas del esclerómetro con los resultados de las otras pruebas, ayudarán a conocer con mayor grado de confianza la situación del concreto en las demás partes de la estructura.

Otro ejemplo puede ser el uso del equipo de ultrasonido que, conociendo los materiales que componen el concreto en cuestión (cemento y agregados), la presencia de acero de refuerzo, etc., aportará a través de los datos de longitud de onda, velocidad de pulso y frecuencia, información significativa sobre el módulo de elasticidad del concreto, pudiendo procesarse y graficar los resultados y extrapolarlos al resto de la estructura mediante la correlación de resultados de diversas pruebas o ensayos.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis estadístico de resultados obtenidos se realizará mediante las gráficas de correlación lograda, iniciando con correlaciones simples entre resistencia y los resultados de los ensayos de las «pruebas no destructivas», y otras.

En una segunda etapa se pueden realizar las correlaciones dobles (multivariables) que permitan obtener directamente los estimadores del método combinado como funcionamiento de los resultados de los ensayos de «pruebas no destructivas».

### CONCLUSIONES

Como se acaba de describir, en la industria de la construcción hay numerosas herramientas y métodos de «pruebas no destructivas». Sin embargo, no todos resuelven un caso en particular de evaluación. Por tanto, es necesario que se conozcan todos y cada uno de éstos para así poder elegir el adecuado, que se adapte al tipo de problema y evaluación a efectuar, si consideramos que son una herramienta útil para la evaluación de un estructura existente y muchas veces se carece de información.

Debe elaborarse un buen plan de muestreo y aplicación de ensayos, en función de los resultados que se desea obtener y con la finalidad de correlacionarlos entre sí

para presentar resultados concluyentes, sin escatimar por el lado económico, pues de esto depende mucho el éxito de la evaluación de la estructura, al analizar en forma lo mejor eficiente posible.

Debe recordarse que las «pruebas no destructivas» no son un sustituto de las pruebas rutinarias de verificación de la calidad del concreto, pero sí son un medio para obtener información confiable que permite establecer comparativas para definir la probable calidad del concreto en algunos de sus parámetros y muy importante es la selección de las pruebas y equipo adecuado, junto con el personal que opere y analice o interprete los resultados. ☺



\*El autor es actualmente director general del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (IMCYC). Ingeniero civil, egresado de la Universidad Autónoma de Puebla, en la ciudad de Puebla, Pue. (1972-1976). Maestro en Ciencias de la Ingeniería, egresado de la Universidad de Purdue, en West Lafayette, Indiana, EU. También, se desempeña como maestro titular en la maestría de construcción en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) con la clase de Tecnología de Concreto. Miembro del *American Concrete Institute* (ACI) desde 1976. Participa en los siguientes comités: ACI-311, *Manual of Concrete Inspection*; ACI-610 *Field Technician Certification* y ACI-630, *Construction Inspector Certification*.

Así mismo, es examinador certificado por el ACI, además de estar certificado por el mismo ACI como Supervisor de Obras de Concreto-Grado II y en Técnico en Pruebas de Campo para Concreto-Grado I por el periodo septiembre 2001-2006. Ex presidente del Capítulo (Chapter) Noreste del ACI, con sede en la ciudad de Monterrey, NL. Ha participado diversos simposios y congresos internacionales con temas de investigación en cemento y concreto. (Síntesis curricular).