

Control de calidad en obra: limitaciones y aplicaciones de los END

Ms. Ing. Maximiliano Segerer

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

La temática de los Ensayos No Destructivos (END) siempre ha sido discutida y de interpretación controvertida. El Reglamento CIRSOC 201 de 1982 admitía el empleo de los ensayos no destructivos (como esclerometría y ultrasonido) como complemento de la extracción de testigos. Sin embargo, el CIRSOC 201 vigente no menciona en su texto el empleo de END, probablemente debido a las diversas opiniones, al gran número de veces que han sido interpretados por personal no capacitado y, principalmente, a que en algunas ocasiones estos ensayos se han empleado como único medio para dirimir la aceptación o no de la estructura y juzgar sobre su seguridad y aptitud en servicio. Es claro que los END no pueden emplearse como único medio con aquella finalidad. Antes de comenzar el estudio de los campos de aplicación y las limitaciones de los END más empleados en nuestro medio, merecen destacarse los siguientes puntos:

- Ningún END determina directamente la resistencia a compresión del hormigón.
- En caso de bajas resistencias, los testigos calados no pueden ser totalmente reemplazados por END.
- Los END siempre presentan una variabilidad e incertidumbre apreciable y para tener en cuenta.

1. Campo de aplicación de los END

No obstante lo expresado anteriormente, en muchos casos es necesario inferir sobre alguna de las propiedades del hormigón endurecido sin dañar la estructura, como su resistencia a compresión, empleando para ello END. Hay que tener

presente las limitaciones de estos END, ya que no “pueden borrar” totalmente resultados bajos de probetas y que éstos deben ser realizados e interpretados por personal muy capacitado. Tal como se afirmó, debe tenerse en cuenta que ninguno de los END mide directamente la resistencia a compresión del hormigón, sino que puede ser estimada mediante otra magnitud física y luego correlacionarla, siempre con una calibración previa con materiales locales. Por ejemplo, un error frecuente es emplear el esclerómetro y utilizar las curvas impresas de fábrica, o usar las curvas para estimación de resistencias con el ultrasonido obtenidas de bibliografía especializada.

En cualquier campaña de END, deben realizarse ensayos tanto sobre los elementos cuestionados –por ejemplo, de baja resistencia en probetas– como en elementos con resultados satisfactorios. Los ensayos no destructivos son muy útiles para comparar resultados y estimar uniformidad. Por ejemplo, si en una obra se tienen 10 resultados de probetas aceptables y 3 resultados bajos de probetas, se deberán realizar END (esclerometría o ultrasonido) sobre aquellos elementos que arrojaron resultados negativos y también sobre los sectores con resultados positivos. A igualdad de condiciones (encofrados, tipo de hormigón, curado) se marcará y apreciará una diferencia entre los resultados de las magnitudes medidas por END (dureza o velocidad de onda). En caso de que arroje una marcada uniformidad en los 13 resultados, podría existir un problema en el ensayo de las 3 probetas que arrojaron un resultado negativo. Si claramente hay una diferencia en el mismo sentido entre ambos grupos de ensayos, casi con seguridad un hormigón tendrá menor resistencia que el otro. Pero si en una obra contamos con 20 resultados y todos son bajos, no podrán emplearse los END como único medio para inferir la calidad del hormigón de las estructuras.

Entre las principales aplicaciones de los END pueden señalarse las siguientes:

1. Estimación de uniformidad de hormigones de la misma obra y con análogas técnicas constructivas.

2. Si las probetas moldeadas al mismo tiempo que la estructura arrojan una resistencia inferior a la especificada, o si no se han moldeado, siempre como complemento de la extracción de testigos.
3. Si la estructura muestra signos de debilidad, como fisuración excesiva, por deficiencias de proyecto, materiales o técnicas constructivas, como complemento de otros ensayos.
4. Estructuras con daños provocados por sobrecargas, efectos climáticos, fuego, ataques químicos o eventos extraordinarios, como sismos.
5. Diagnóstico de estructuras existentes y detección de armaduras.
6. Como criterio de aceptación en ciertas estructuras si figura en especificaciones particulares.
7. Estructuras después de haber sido reparadas, reforzadas o recicladas.

En la tabla adjunta se muestra un listado no exhaustivo de los END para hormigones más empleados en el medio. No se incluyen los END para determinar ensayos de durabilidad, ya que no es el objeto del presente artículo y, si bien actualmente su uso es de utilidad, no está difundido en el país. La determinación de la capacidad resistente de estructuras (extracción y ensayo de testigos, y ensayos de carga directa en estructuras) se abordará en el próximo número de *Hormigonar*. La inspección visual es quizás el END más importante para comenzar el diagnóstico de cualquier estructura. De todas maneras, ninguna apreciación visual puede ser determinante en la aceptación o rechazo de una estructura en función de su resistencia; se debe validar con ensayos y valoración numérica. En lo que respecta a los ensayos para estimar resistencia, si bien existe un número importante de patentes comerciales y diferentes ensayos, se estudiarán a continuación los ensayos de esclerometría y ultrasonido, ya que son los más ampliamente utilizados en el medio para diagnosticar estructuras.

2. END de esclerometría

El esclerómetro es, sin duda, el instrumental de END para hormigones más empleado (Figura 1), y en muchas ocasiones su empleo es completamente inapropiado, con lo cual lamentablemente

Fisuración y defectos visibles	Inspección visual por personal capacitado. Lupas o microscopios ópticos portátiles. Medidores y seguidores de actividad de fisuras.
Estimación de resistencia del hormigón	Dureza de rebote (esclerómetro). Velocidad de onda ultrasónica (ultrasonido). Penetración (por ejemplo, <i>Windsor test</i>). Arrancamiento (por ejemplo, <i>pull-out test</i>).
Detección de armaduras	Pachómetro o detector de armaduras. Radiografía, tomografía o gammagrafía.
Defectos ocultos	Ultrasonido con osciloscopio y métodos por impacto. Radiografía, tomografía o gammagrafía.
Capacidad resistente de estructuras	Ensayos de carga directa sobre estructuras. Caracterización de materiales (acero y hormigón) mediante la extracción y ensayo de muestras y testigos.

Fig. Fotografías de ensayos de esclerometría



ha perdido credibilidad. La función primaria del esclerómetro es la determinación de la uniformidad dentro de la misma estructura de hormigón y la metodología del ensayo se especifica en la Norma IRAM 1694. Dependerá del director de obras establecer la necesidad y el alcance de los ensayos de esclerometría sobre las estructuras. El primer aspecto para tener en cuenta es que el esclerómetro, de muy fácil manejo, no mide la resistencia del hormigón, sino su dureza superficial. En función de la dureza superficial medida por el número de rebote del esclerómetro, si se cumple una importante cantidad de condiciones, puede estimarse la resistencia del hormigón, y aun en »

este caso, siempre se posee una incertidumbre elevada del orden del 25%.

Como se mencionó anteriormente, el esclerómetro es muy útil para determinar la uniformidad del hormigón de una estructura. Si se han empleado las mismas técnicas constructivas –como compactación, curado, desmoldantes y tipos de encofrados– y los hormigones poseen edades similares, el esclerómetro acusa variaciones de resistencia. Para estimar resistencias, siempre con la incertidumbre mencionada, debe tenerse en cuenta la calibración o contraste previo con materiales locales:

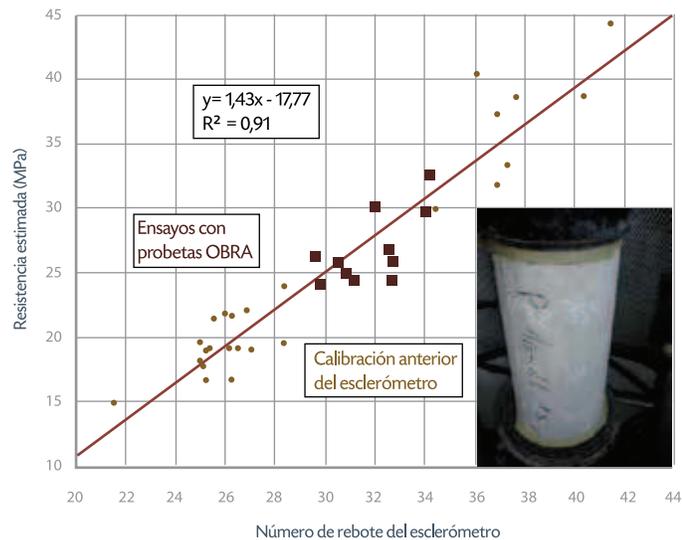
- Calibración de rutina del esclerómetro: no pueden emplearse para estimar resistencias las curvas impresas en el esclerómetro, sino que siempre debe ser calibrado con los materiales locales, en resistencias que oscilen entre 10 y 40 MPa. Para poder estimar la resistencia del hormigón, lo que no reemplaza el resto de los ensayos reglamentarios, debe existir una adecuada correlación (R^2 superior a 0,90) entre los números de rebote y resistencia a compresión de las probetas, siendo preferible su verificación con probetas de la obra en la cual se estimarán resistencias.
- Calibración con probetas de obra: siempre es recomendable confirmar la calibración de rutina del esclerómetro, con al menos 5 a 10 probetas de obra a auscultar, para verificar o no la línea de calibración preliminar, en el rango de resistencias que arrojan los resultados de las probetas. En la Figura 2 se muestra una curva de rutina y, superpuestas, probetas de una obra en particular.

La calibración del esclerómetro se realiza sometiendo probetas de 15x30 cm a una precarga del orden de 5 toneladas en la prensa de ensayos, pero sin ningún tipo de encabezado (o con encabezado de azufre). Se dan 3 golpes en 3 verticales equidistantes y se toma el valor promedio del número de rebote. Si hay valores que distan en más de 3 a 5 unidades del promedio, deben descartarse y recalcularse el promedio. Luego se ensaya cada probeta con encabezado a compresión, obteniendo así su resistencia mecánica.

El índice esclerométrico o número de rebote está influenciado por una gran cantidad de parámetros:

- Materiales constituyentes del hormigón: influyen de manera determinante el tipo de

F.2 Curva de calibración del esclerómetro con probetas locales



cemento y el tipo de agregados. Nunca deben compararse mediciones realizadas sobre hormigones elaborados con agregados de distinta composición petrográfica.

- Edad del hormigón: es uno de los factores más influyentes y que muchas veces no se tiene en cuenta. En el mismo esclerómetro viene impreso que es válido para determinaciones de entre 14 y 56 días; es decir, no es válido para estimar resistencias en hormigones muy jóvenes ni a edades tardías. En otros esclerómetros más modernos, vienen impresos factores de corrección en función de la profundidad de carbonatación (relacionado con la edad y ambiente de exposición). La superficie del hormigón expuesta al ambiente se va carbonatando con el tiempo, lo que resulta en un aumento de la dureza superficial, que no está relacionada con la resistencia a compresión del núcleo del elemento de hormigón. Es por ello que, a igualdad de resistencia, se obtienen números de rebote entre 3 y 6 unidades mayores para hormigones “viejos” que para hormigones “nuevos”. Este límite de 56 días puede ser extendido si se aprecia que no existe influencia en los ensayos de la carbonatación, la cual es progresiva y depende de una importante cantidad de variables o directamente se elimina esta capa con un abrasivo. Para determinar con precisión la profundidad de carbonatación en milímetros, »

grupo
BaBuin y BaBuin S.A.

El prestigio y el éxito de nuestra
compañía, es el éxito de quienes
deciden confiar en nosotros.



especialistas en construcciones

y hormigón elaborado

BaBuin y BaBuin S.A.

construcciones

- Obras Civiles,
viales e industriales
- Pavimentos
- Pisos Industriales
- Obras Hidráulicas
- Obras de Arquitectura

HorBa S.A.

hormigón elaborado

- Hormigones
de todo tipo
- Servicio de bombeo
- Planta Móvil
- Laboratorio
- Control de calidad

EdiBaB S.A.

inmobiliaria

- Fideicomisos
- Comercialización
de Unidades de Vivienda
- Soluciones Inmobiliarias



info@horba.com.ar

50 años
en la Contrucción Argentina

0800-122-8989
0237-4055422 al 425

www.babuinybabuin.com.ar

debería realizarse el ensayo con aspersión de solución de fenolftaleína en testigos.

- Estado de humedad: es importante que los ensayos sobre estructuras se realicen con estados de humedad similares a los de las probetas empleadas para su calibración, siendo recomendable el estado seco. En general, mientras mayor es el contenido de humedad, menor es el número de rebote.
- Terminación de superficies: las superficies llaneadas o con encofrados metálicos presentan números de rebote superiores que las superficies ásperas o porosas, como al emplear encofrados de madera. Ciertos tratamientos, como endurecedores superficiales, invalidan el ensayo. En caso de pequeñas irregularidades, membrana de curado o desmoldantes, se deben remover con una piedra de pulir.
- Dimensiones de los elementos ensayados: la realización de ensayos sobre elementos estructurales de menos de 12 cm de espesor o elementos muy esbeltos que vibren durante el ensayo puede arrojar resultados erráticos. Por ejemplo, si se desea emplear el esclerómetro en losas alivianadas, deberán hacerse los ensayos en zona de vigas y no en la capa de compresión sobre losetas.
- Posición del ensayo: si el golpe se realiza hacia abajo (superficie de una losa), el número de rebote promedio se incrementa en 2 a 5, mientras que si se realiza hacia arriba (fondo), se debe disminuir en 4 a 5. Muchas veces, en el mismo esclerómetro figuran los factores de corrección para diferentes ángulos de incidencia, o bien pueden emplearse los que aparecen en IRAM 1694. Esta corrección está dada por el efecto de la gravedad respecto de la masa que impacta el hormigón; para ensayos hacia abajo, la masa rebotará menos que en horizontal.

3. END de ultrasonido

El ultrasonido puede ser empleado tanto para detectar defectos ocultos (si se cuenta con un osciloscopio adecuado), y más comúnmente para estimar uniformidad y resistencia del hormigón endurecido. Es una técnica que requiere más cuidado que la esclerometría, pero presenta una

E3 Instrumental y mediciones en ensayos de ultrasonido



menor incertidumbre que el esclerómetro; es decir, si se efectúa adecuadamente, puede tenerse una precisión de 5-10%, constituyéndose en el END con menores errores para la estimación de resistencias. El equipo de ultrasonido básicamente mide el tiempo en segundos que tarda una onda en atravesar un elemento de hormigón, y conociendo su espesor (distancia entre emisor y receptor) se calcula la velocidad de onda. La Norma IRAM 1683 establece el procedimiento de ensayo, fundamentos y los diferentes factores que influyen en los resultados. Es indispensable un adecuado contacto entre los transductores y el hormigón, lo que se logra con un gel especial o vaselina común, y en caso de superficies ásperas, éstas deben eliminarse.

En realidad, el ensayo de ultrasonido mide la continuidad dentro del hormigón y la magnitud de su módulo de elasticidad dinámico, pudiendo apreciar la variación de sus propiedades con el tiempo. Esta variación de módulo de elasticidad puede interpretarse como fisuración interna y estimarse cambios de resistencias. Por ejemplo, al presentarse zonas de compactación deficiente, vacíos o material deteriorado en los hormigones que se someten a ensayos, se obtendrá una disminución de la onda ultrasónica.

Además de la puesta a cero del ultrasonido que se realiza con una barra patrón al inicio de las mediciones (Figura 3), es muy aconsejable su calibración con probetas elaboradas con los mismos materiales que los empleados en la obra. Al igual que con el esclerómetro, para poder estimar »

**MOTOHORMIGONERAS - AUTOMATIZACIONES Y CONTROL DE PROCESOS
CENTRALES HORMIGONERAS (Hasta 300 m³/h.)**

BETONMAC



Fábrica y Administración en CÓRDOBA (Argentina) - Av. Circunvalación esq. Cno. a San Carlos
Tel. 00 54 (0351) 4642107 - Fax 00 54 (0351) 4642115 - C.de C. 894- CP 5000
Tel. 0800 800 0111 (Para Argentina, excepto Ciudad de Córdoba)

E-Mail: betonmac@betonmac.com
Home Page: www.betonmac.com

Filiales y Agentes en: BRASIL-CHILE- PARAGUAY-URUGUAY-BOLIVIA-PERÚ-ECUADOR

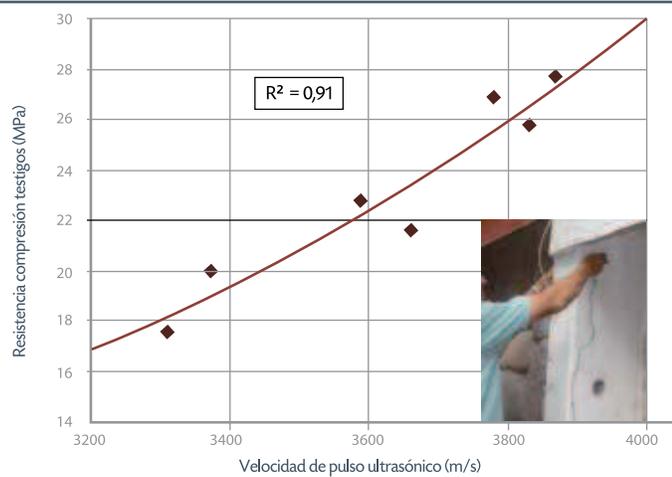
resistencias se debe poseer una curva de calibración con hormigones elaborados con materiales locales, y de ser posible, ser complementada con probetas de obra. Para su calibración deben emplearse probetas de 15x30 cm, realizar 5 ensayos de ultrasonido en el sentido longitudinal con el gel de contacto y medir la altura de la probeta de manera precisa en al menos 4 puntos. Con los valores anteriores se tendrá la velocidad de onda en m/s. Luego se encabeza y ensaya a compresión la probeta normalmente y se llega a su resistencia real, obteniendo así curvas de correlación. En estructuras existentes, es muy recomendable realizar ensayos de ultrasonido en los mismos elementos de los que se extraen los testigos para su ensayo a compresión y realizar curvas de calibración para estimar resistencias en otros elementos de la misma obra (Figura 4). Este procedimiento es muy útil para estimar resistencias en estructuras de cualquier edad, lo cual no puede lograrse con el ensayo de esclerometría.

Las condiciones para tener en cuenta en el ensayo son, entre otras: humedad, temperatura, terminación de superficies, efecto de armaduras, distancia de traspaso, forma y tamaño de elementos, naturaleza de los agregados, etc. No pueden extrapolarse curvas de calibración con hormigones de edades muy diferentes o de distinta composición, debiendo realizar la calibración con probetas o testigos tal como se ha mencionado. Para los ensayos de ultrasonido, existen diferentes tipos de colocación de los transductores (Figura 5), siendo siempre deseable la transmisión directa. Con las transmisiones semidirectas e indirectas difícilmente puedan determinarse resistencias a compresión, pero sí podrían evaluarse discontinuidades internas.

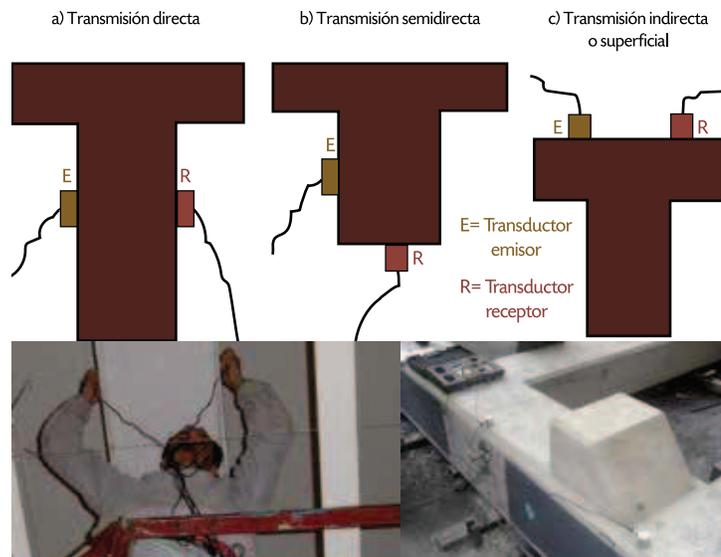
5. Detección de armaduras

Existen dispositivos que sólo distinguen la presencia de metales; otros, que además estiman la profundidad (espesor de recubrimiento); y los más sofisticados pueden también inferir el diámetro de las barras (Figura 6). Para la auscultación de estructuras de las que no se poseen planos, debe verificarse en varios puntos (picando el hormigón y exponiendo las barras) la posición de armaduras, corroborando la información del pachómetro. En columnas o nudos muy armados, pierde validez. También se emplean para detectar la posición de las armaduras antes de extraer testigos para intentar no cortar barras o armaduras principales.

F.4 Curva de calibración del ultrasonido con testigos de estructuras existentes



F.5 Diferentes tipos de transmisión en ensayos de ultrasonido

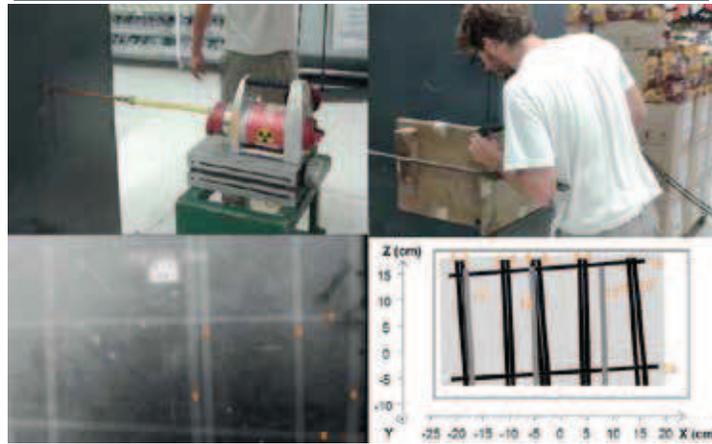


F.6 Pachómetros para detectar armaduras y cateos para observación directa



Como última y novedosa técnica para el diagnóstico de estructuras de hormigón, pueden mencionarse la radiografía, tomografía y/o gammagrafía del hormigón. Algunos de estos métodos están disponibles en nuestro país y con experiencia probada, y si bien cada una de las técnicas tiene sus particularidades, pretenden tener una imagen del interior del hormigón, detectando principalmente disposiciones de armado, espesores y, en algunos casos, defectos ocultos que puedan tener ciertos elementos. Los diferentes métodos se basan en la colocación de películas especiales y en que son sometidas a diferentes tipos de radiaciones, con principios similares a los equipos empleados en medicina. En la Figura 7 se muestran ensayos realizados en un supermercado en Buenos Aires, incluyendo imágenes de la fuente radiactiva, placas en contacto con columnas, revelado de placas e interpretación de observaciones. «

E7. Tomografía por gammagrafía para detección de armaduras en supermercado





IRAM
GESTIÓN DE LA CALIDAD
TEL. 9000-4712

Cuando la base es sólida, el crecimiento es infinito.

Desde hace 14 años acompañamos
el desarrollo de la región.



WWW.HORMIGONERAHDI.COM.AR



**HORMIGONERA
DEL INTERIOR**