

Ensayos *in situ* para el diagnóstico del concreto: panorama y perspectivas

*In Situ Testing for Concrete Diagnosis:
Overview and Perspectives*

Resumen

En este trabajo se busca exponer e identificar las condicionantes para el uso de ensayos no destructivos y destructivos para determinar las propiedades del concreto, dentro del proceso de evaluación estructural establecido por la *Norma Técnica Complementaria para Evaluación y Rehabilitación Estructural de Edificios Existentes* para Ciudad de México. Se realiza la identificación de los ensayos, así como sus principios de funcionamiento, a partir de los cuales es posible analizar el panorama actual alusivo a los retos y las oportunidades para su incorporación de una manera más amplia y estandarizada al proceso de inspección estructural.

Palabras clave: ensayos no destructivos, martillo de rebote, ultrasonido, evaluación estructural

Abstract

This paper exhibits and identifies the conditions for the use of non-destructive and destructive tests to determine the properties of concrete, within the structural evaluation process established by the Complementary Technical Standard for Structural Evaluation and Rehabilitation of Existing Buildings of Mexico City. The tests are identified, as well as their operational principles, whereby it is possible to analyze the current scenario regarding the challenges and opportunities for their incorporation, in a broader and more standardized way, to the structural inspection process.

Keywords: Non-destructive testing, rebound hammer, ultrasound, structural evaluation

**Nohema Cassandra
Ruiz Gómez**

Universidad Nacional
Autónoma de México

Fecha de recepción:
12 de octubre de 2024

Fecha de aceptación:
16 de abril de 2025

[https://doi.org/10.22201/
fa.2007252Xp.2025.16.31.91600](https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2025.16.31.91600)



Este trabajo está amparado por
una licencia Creative Commons
Atribución-No Comercial, 4.0

En el campo de la arquitectura y la ingeniería civil, los ensayos no destructivos brindan ventajas para la evaluación de la calidad de los procesos constructivos en obras nuevas, tanto en lo alusivo al control de los materiales, como en las inspecciones para garantizar una correcta ejecución de los trabajos. En el caso de las estructuras existentes, las posibilidades de uso se amplían, especialmente si se carece de registros tales como planos o memorias técnicas, ya que a través de la implementación de los ensayos se podrá recabar información para evaluar homogeneidades en el material, identificar la disposición del acero o espesores de los elementos arquitectónicos y estimar propiedades mecánicas, entre otros.

Los ensayos destructivos son aquellos métodos físicos directos cuyos daños y alteraciones son permanentes a las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales del material, parte o componente. Los ensayos no destructivos son métodos de análisis a través de los cuales se inspeccionan, evalúan o prueban las propiedades de un material o sistema sin ocasionar alteraciones o daños a la capacidad de servicio de los objetos. A pesar de esto, se debe enfatizar que su aplicación no sustituye a los ensayos destructivos, ya que los principios rectores, alcances, limitaciones y campos de aplicación presentan particularidades en cada caso.¹

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha externado su interés por mejorar la capacidad de respuesta mediante el uso de técnicas nucleares para una inspección y evaluación eficientes de la integridad de las estructuras civiles ante los desastres naturales en los países de América Latina.² De acuerdo con Luis Longoria, director de Cooperación Técnica para América Latina y el Caribe del OIEA, después del sismo del 19 de septiembre de 2017 en México se implementó por primera vez el uso de técnicas para evaluar estructuras de tipo civil después de un terremoto en zonas urbanas.³

En 2018, gracias a un proyecto de cooperación técnica del OIEA, se lograron establecer cuatro centros de respuesta rápida en América Latina, con el fin de evaluar la infraestructura afectada por desastres naturales. Ese mismo año se organizó un curso en

¹ Alfonso García Cueto, *Introducción a los Ensayos No Destructivos*, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos, 2007, pp. 2-1 y 3-2.

² Laura Gil, *After a Natural Disaster, Nuclear Technology Helps with Recovery*, IAEA, 2018, <https://www.iaea.org/newscenter/news/after-a-natural-disaster-nuclear-technology-helps-with-recovery>, consultado el 23 de septiembre de 2024.

³ Alejandra Silva y Josef Weilguny, *How Nuclear Technology Helped Mexico after Strong Quake*, IAEA, 2017, <https://www.iaea.org/newscenter/multimedia/videos/how-nuclear-technology-helped-mexico-after-strong-quake>, consultado el 23 de septiembre de 2024.

Buenos Aires en el que participaron veinticuatro profesionales de diversos países latinoamericanos, incluido México. Durante la capacitación, los participantes recibieron formación en técnicas de ensayos por ultrasonido, mientras que otros diez obtuvieron certificaciones en el uso de métodos avanzados de radiografía digital con rayos X y rayos gamma.⁴

Producto del sismo de magnitud 7.1 con epicentro en los límites de Puebla y Morelos, y a una distancia de 120 km de Ciudad de México el 19 de septiembre del 2017, así como del gran número de estructuras que resultaron dañadas por el mismo, se publicaron de forma emergente el 4 de diciembre del mismo año las *Normas para la Rehabilitación Sísmica de Edificios de Concreto dañados por el Sismo del 19 de septiembre de 2017*, surgiendo la necesidad de establecer una norma permanente que estableciera los parámetros básicos para evaluar y rehabilitar las estructuras de Ciudad de México,⁵ y fue a finales del 2023 cuando se publicó oficialmente bajo el nombre de *Norma Técnica Complementaria para Evaluación y Rehabilitación Estructural de Edificios Existentes* (NTC-ER).

La norma señala que, en caso de requerir la resistencia y el módulo de elasticidad del concreto para la evaluación de la estructura, los valores se podrán obtener únicamente mediante la extracción de núcleos de concreto, o en combinación con ensayos no destructivos como son la esclerometría y el ultrasonido, previa lectura e identificación del acero de refuerzo con radar de penetración o inducción magnética. En este entendido, la norma deja en claro el carácter complementario de los ensayos no destructivos hacia los destructivos, haciendo hincapié en que:

Se podrán utilizar métodos no destructivos para evaluar la resistencia del concreto en sitio si se establece una correlación válida para el edificio en estudio entre los resultados de la compresión de corazones y las mediciones no destructivas. En ningún caso se permitirá la determinación de la resistencia a compresión ni del módulo de elasticidad mediante métodos no destructivos solamente o a partir de correlaciones hechas en otros edificios.⁶

⁴ Pauline Sophie Hennings, "Aplicación de técnicas nucleares en respuesta a desastres naturales en América Latina y el Caribe", *IAEA Bulletin*, abril 2023, pp. 38-39.

⁵ Secretaría de Obras y Servicios, "Acuerdo por el que se actualizan las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*, 6 de noviembre de 2023, *Vigésima Primera Época*, pp. 202-205, https://drive.google.com/file/d/1Y2ntwcSuP_aartU4RgQDcoN7c4rPHFy3/view, consultado el 23 de septiembre de 2024.

⁶ *Norma Técnica Complementaria para Evaluación y Rehabilitación Estructural de Edificios Existentes*. Gobierno de la Ciudad de México, 2023, p. 57.

Materiales y métodos

La literatura proporciona diversos criterios para la clasificación y organización de los ensayos para la inspección de estructuras de concreto reforzado, como son las expuestas por Hola y Schabowicz⁷ o Damazo.⁸ Para este análisis se toma como referencia la propuesta del OIEA, donde se genera una agrupación de tres categorías en función de sus aplicaciones. La primera categoría se relaciona con la estimación de la resistencia del concreto *in situ* a través de la dureza superficial, la resistencia a la penetración y las técnicas de arrancamiento (*pull out*). La segunda alude a la medición de las propiedades del concreto tales como humedad, densidad, espesor y temperatura englobando los métodos ultrasónicos. Finalmente, las pruebas que permiten detectar las áreas con defectos tales como oquedades, fracturas y delaminaciones al interior de las estructuras como son el *impact echo*, radar de penetración terrestre y pulso-eco.⁹

Al establecer una relación entre los ensayos no destructivos señalados dentro de la NTC-ER y la clasificación proporcionada por la OIEA, se observa una complementariedad entre categorías, la primera corresponde a la esclerometría y la segunda a la velocidad de pulso ultrasónico.¹⁰ A su vez, se puede considerar la presencia de técnicas del tercer grupo representadas por el radar de penetración terrestre; no obstante, en la clasificación se atribuye el uso a la localización de defectos internos del concreto, mientras que la norma lo considera como un identificador de acero.

Adicionalmente, en un panorama global estos ensayos son complementarios a los ensayos destructivos, correspondientes a la extracción de los núcleos de concreto y de resistencia a compresión, ya que “la medición en núcleos proporciona valores de resistencia de referencia que se pueden utilizar para comparación o calibración. Todos los demás métodos proporcionan un resultado de

⁷ Jerzy Hola y Krzysztof Schabowicz, “State-of-the-art non-destructive methods for diagnostic testing of building structures – anticipated development trends”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 10, núm. 3, 2010, pp. 5-18, [https://doi.org/10.1016/S1644-9665\(12\)60133-2](https://doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60133-2).

⁸ José Daniel Dámazo Juárez, “Pruebas No Destructivas del Concreto. Las Estructuras no son Eternas”, *Construcción y Tecnología*, 2006, pp. 48-54, <http://www.imcyc.com/ct2006/mayo06/TECNOLOGIA.pdf>.

⁹ International Atomic Energy Agency, *Non-destructive Testing for Plant Life Assessment*, Training Course Series, núm. 26, iaea, 2005, p.32.

¹⁰ En el caso de la velocidad de pulso es posible obtener también la información superficial, esto dependerá de la configuración de los transductores para realizar las lecturas.

prueba del que se puede derivar un valor de resistencia únicamente mediante un modelo de conversión”.¹¹

Detección de acero de refuerzo

Antes de realizar cualquier lectura con el esclerómetro o la velocidad de pulso ultrasónico, es indispensable detectar la disposición del acero de refuerzo dentro del elemento, ya que los valores de los ensayos son afectados por su presencia. Por lo tanto, para obtener datos más certeros, así como evitar la extracción de núcleos con contenido de secciones de acero en su interior, se establecerán mapeos *in situ* y se ubicarán las áreas libres de este material. Adicionalmente, dependiendo del modelo y fabricante, el pachómetro puede proporcionar información complementaria como el espesor de la cobertura del concreto y diámetro del acero de refuerzo. El funcionamiento del equipo es a partir de la inducción de impulsos electromagnéticos basados en el principio de reluctancia magnética (Figura 1), donde el detector está constituido por una bobina en la que circula una corriente alterna que genera un campo magnético produciendo corrientes de remolino al detectar un material conductor dentro del campo.¹²

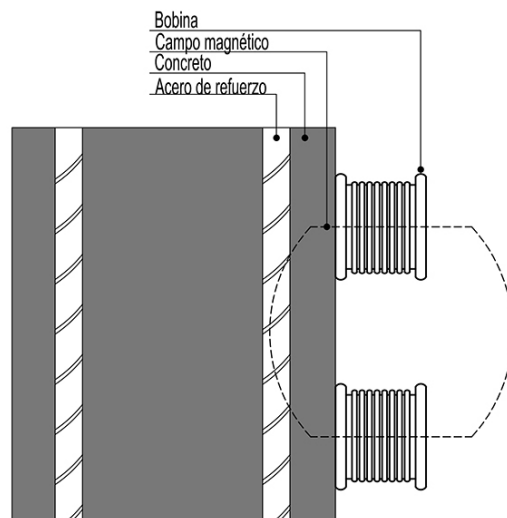


Figura 1. Principio de funcionamiento del pachómetro.

Elaboración propia, 2025, basada en Proceq, 2017.¹³

¹¹ Denys Breysse, et al., "In-Situ Strength Assessment of Concrete: Detailed Guidelines", en Denys Breysse y Jean-Paul Balayssac (eds.), *Non-Destructive In Situ Strength Assessment of Concrete Practical Application of the RILEM TC 249-ISC Recommendations*, Springer, 2021, p.16, <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-64900-5>.

¹² Maria del Carmen Andrade, et al., "Identificación de presencia de cemento aluminoso en hormigones mediante el uso del pachómetro", *Informes de la construcción*, vol. 44, núm. 419, 1992, pp. 65-70, <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1335/1631>.

¹³ Proceq, *Profometer. Manual de Operación*, 2017, p.9, https://media.screeningeagle.com/asset/Downloads/Profometer_Operating%20Instructions_Spanish_high.pdf.

Esclerometría

El método consiste en medir la dureza superficial del concreto mediante la determinación de un número de rebote, donde la fuerza de impacto es conocida. Se obtiene cuando la masa del martillo de rebote o martillo de Schmidt, controlada por un resorte, entra en contacto con la superficie a partir del golpe de un émbolo de acero. La esclerometría se emplea para evaluar la uniformidad y homogeneidad superficial del concreto, así como para estimar la resistencia a la compresión del concreto a partir del establecimiento de correlaciones con los resultados obtenidos del ensayo de los núcleos a compresión. Las mediciones se realizan con el martillo de rebote o martillo de Schmidt, el cual se calibra a base de curvas de correlación establecidas por el fabricante, no obstante, no es recomendable su uso extendido ya que las condiciones materiales y de prueba del fabricante y la campaña a desarrollar suelen presentar variaciones importantes.¹⁴

Velocidad de pulso ultrasónico

El principio utilizado consiste en la propagación de ondas en un medio material. En este caso, el impulso ultrasónico con frecuencia entre 20 kHz y 150 kHz es generado por un transductor electroacústico transmisor que al entrar en contacto con la superficie es recibido y convertido en energía eléctrica por el transductor receptor, el cual se localiza a una distancia previamente definida.¹⁵ La lectura proporciona el tiempo del recorrido y, por lo tanto, al ser conocidos el tiempo (T) y la distancia (L), se realiza el cálculo de la velocidad del pulso como se muestra a continuación.

$$v = \frac{L}{T} \quad (1)$$

Donde

v= velocidad de pulso ultrasónico

L= distancia entre transductores

T= tiempo de tránsito

¹⁴ Mohan Malhotra y Nicholas Carino, *CRC Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*, CRC Press Inc., 2004, pp. 1-4.

¹⁵ International Atomic Energy Agency, *Guidebook on Non-destructive Testing of Concrete Structures*, Training Course Series No.17, IAEA, 2002, p.100.

El sistema de ondas generado estará compuesto por ondas longitudinales (P) y de corte (S). En las primeras el desplazamiento de las partículas y la dirección de propagación de ondas es paralelo, por lo cual la oscilación alrededor de las posiciones de equilibrio de las partículas es hacia adelante y hacia atrás. Por el contrario, en las ondas de corte la dirección de propagación de la onda y el desplazamiento de las partículas es transversal, generan las oscilaciones de éstas alrededor de su posición de equilibrio en sentido arriba y abajo.¹⁶

La dirección en la que se propaga la energía máxima es perpendicular a la cara del transductor transmisor, sin embargo es posible detectar impulsos que se mueven en direcciones diferentes. Por lo tanto, la disposición de los transductores es un aspecto importante a considerar, especialmente cuando las mediciones se realicen *in situ*, ya que dicha disposición dependerá de la facilidad de acceso a los espacios o las condiciones del inmueble mismo. La Norma Mexicana NMX-C-275 ONNCCE17 señala tres tipos de mediciones de acuerdo con la disposición de los transductores: directa, semidirecta y transmisión superficial o indirecta (Figura 2).

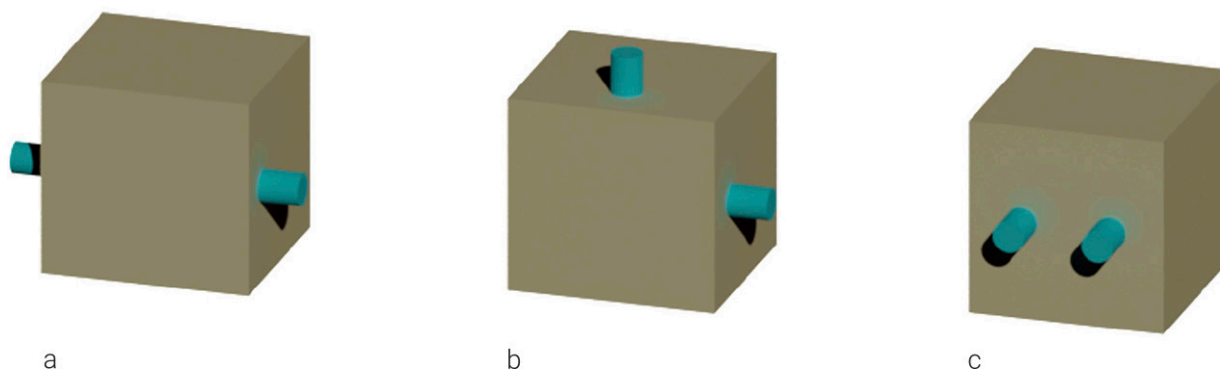


Figura 2. Disposición de transductores a) Medición directa, b) Medición semidirecta y c) Medición indirecta. Modificado de UNE-EN 12504-4:2022.

Un ejemplo de la aplicación de los ensayos previamente mencionados en inmuebles ubicados en el país es el estudio realizado por Paredes Camarillo. En este caso, se implementó una metodología para diagnosticar el estado del concreto reforzado en tres edificios expuestos a una atmósfera urbana y situados en la ciudad de Morelia, donde fueron construidos entre los años de 1940 y 1950.

¹⁶ Proceq, *Pundit. Manual de Operación*, 2014, p. 14, https://media.screeningeagle.com/asset/Downloads/Pundit%20PL-200_Operating%20Instructions_Spanish_high.pdf.

¹⁷ NMX-C-275-ONNCCE-2020, *Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico a través del concreto- Método de Ensayo*, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C., 2020.

¹⁸ UNE-EN 12504-4:2022, *Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 4: Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos*, Asociación Española de Normalización, 2022.

Las pruebas realizadas *in situ* incluyeron el uso del pachómetro para detectar el acero de refuerzo, la esclerometría para estimar la resistencia del concreto, y la extracción de núcleos, los cuales fueron sometidos posteriormente a la prueba de carbonatación. Estos muestreos se complementaron con pruebas de laboratorio como el microscopio electrónico de barrido con electrones (MEB) para determinar la morfología del material y el efecto del ensayo de resistencia a la compresión del concreto, así como pruebas al acero como la de microdureza y el análisis metalográfico. Con los resultados obtenidos a partir de las técnicas mencionadas previamente, se aplicó una metodología que permitió estimar teóricamente el tiempo en que la carbonatación alcanzaría el acero de refuerzo.¹⁹

Por otra parte, Solís Carcaño registró el impacto del acero de refuerzo en la velocidad y variabilidad de la velocidad de pulso en las columnas de concreto reforzado de tres edificios en un campus universitario, con antigüedad entre 13 y 16 años, utilizando transductores de onda longitudinal de 54 kHz y una disposición directa. Adicionalmente, se localizó el acero de refuerzo por medio del pachómetro para realizar las lecturas de velocidad de pulso al concreto aislado, a partir de las cuales se concluyó que sólo uno de los edificios cumplió con la resistencia de diseño.²⁰

Experimentación

Los retos de la campaña *in situ* engloba diversos aspectos, los cuales no se limitan al aspecto técnico ya que factores de gestión, accesibilidad a las diversas áreas y las condiciones de seguridad para el personal también se ven involucrados. La importancia que conlleva una adecuada selección del área para la extracción de núcleos dentro del inmueble debe garantizar la representatividad y condiciones óptimas de los especímenes a ensayar. De acuerdo con la NTC-RE la campaña tanto de ensayos destructivos como no destructivos, en caso de requerirse, será planteada por el proyectista, quien deberá considerar los lineamientos especificados dentro de la norma para definir el número y ubicación.²¹ La campaña de ensayos será autorizada por el Director Responsable de Obra (DRO) y los corresponsables; además, los laboratorios deberán contar con

¹⁹ Emma Paredes Camarillo, *Inspección, Evaluación, diagnosis y prognosis de la arquitectura moderna de concreto reforzado con fundamentos de durabilidad*, tesis de doctorado en Arquitectura, México, UMSNH, 2012.

²⁰ Romel Gilberto Solís Carcaño, "Evaluación de Columnas de Concreto con la Técnica de Ultrasonido", *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 39, núm. 1, 2021, pp. 7-24.

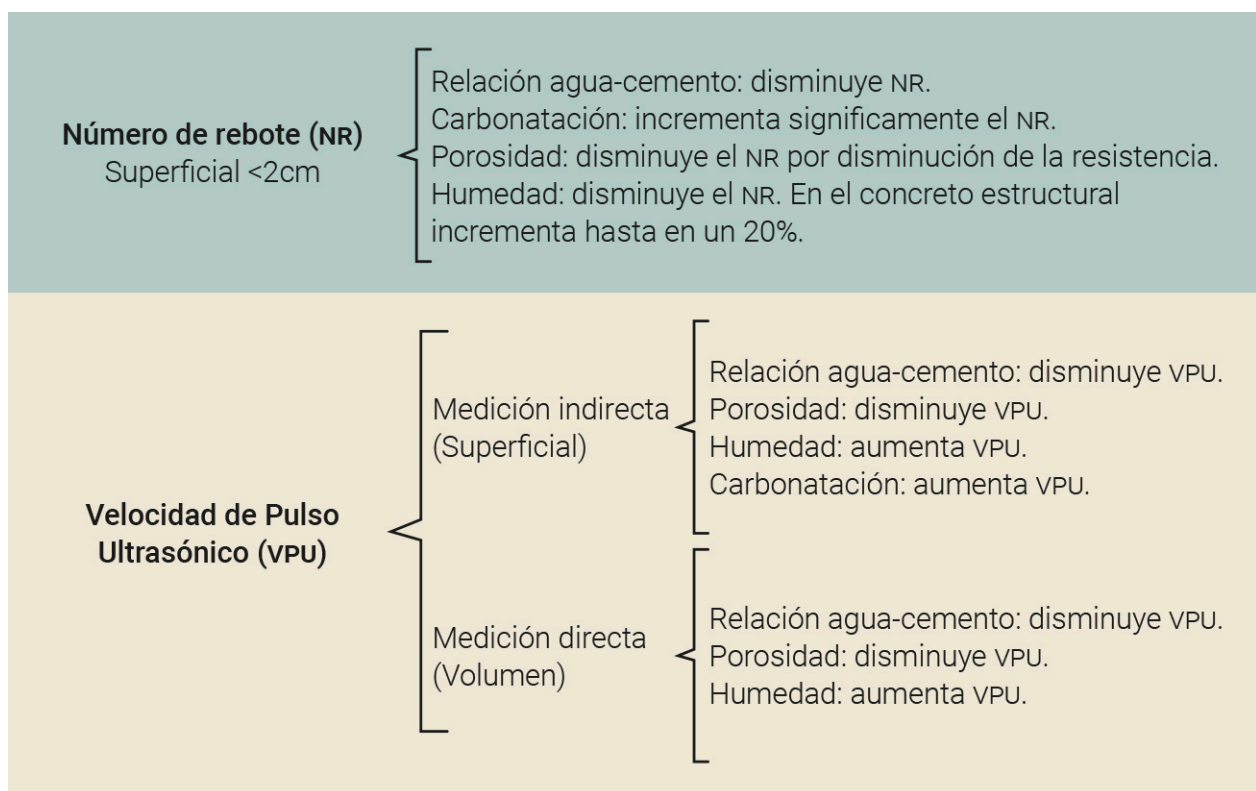
²¹ Conforme a la NTC-RE, el muestreo será ordinario o detallado, dependiendo de las características del inmueble y los requerimientos de evaluación. En ambos casos, el número de pruebas está sujeto a la información disponible respecto a registros o reportes de pruebas aplicados al diseño de concreto utilizado, tipo de elemento a inspeccionar o en función de los metros de superficie construida.

la acreditación y reconocimiento de un organismo acreditado para los métodos de prueba.²²

Opuesto a las constantes referencias a lo largo de la NTC-ER respecto a los procedimientos descritos por las normas mexicanas (NMX), como la NMX-C-169-ONNCCE-2009 “Extracción de especímenes cilíndricos o prismáticos de concreto hidráulico endurecido”, y los criterios ACI, no se detecta la mención de equivalentes a los ensayos no destructivos, como son la NMX-C-275-ONNCCE-2020 “Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico a través del concreto-Método de Ensayo” y la NMX-C-192-ONNCCE-2018 “Determinación del número de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro - Método de Ensayo”. El conocimiento de estas normas es necesario ya que proporcionan los lineamientos para llevar a cabo los ensayos, sus limitantes y las especificaciones que deben satisfacer los equipos, entre otros.

Diversos son los factores que afectan las lecturas de los equipos, como las calibraciones incorrectas o la falta de pericia en la ejecución de los ensayos, sin embargo existen también condiciones propias del material que pueden dar origen a dichas variaciones (Figura 3). El conocimiento de estas limitantes es necesario para

Figura 3. Factores que influyen en las lecturas de los equipos.
Elaboración propia.



²² Norma Técnica Complementaria para Evaluación y Rehabilitación Estructural de Edificios Existentes, *op.cit.*, p. 56.

una campaña exitosa, donde la selección del ensayo sea la más adecuada a los requerimientos y condiciones planteados por el proyecto; además, la identificación de estos factores facilitará el perfeccionamiento en la interpretación de los resultados y sus grados de certidumbre, ya que se pueden aislar variables.

Por otro lado, a pesar de no mencionarse de manera explícita en la norma es posible entrever, a partir de los ensayos propuestos y las propiedades mecánicas a estimar, la posibilidad de hacer uso del método SONREB, el cual correlaciona los valores del número de rebote, la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a compresión.²³ No obstante, el análisis de la factibilidad de uso y aplicabilidad de dicho método a un determinado proyecto deberá ser estudiado a detalle, así como verificar que se cumplan las condiciones y requerimientos necesarios para la correcta obtención de resultados.

Con la finalidad de incrementar la calidad de los núcleos e incluso reducir el número de especímenes requeridos, los investigadores han propuesto incorporar el llamado “*conditional coring*”, el cual propone generar un mapeo a base de ensayos no destructivos, lo que permite seleccionar los puntos óptimos de extracción que permitan establecer un modelo de conversión más confiable.²⁴ A partir de los requerimientos y los ensayos señalados en la NTC-ER, se genera una propuesta para visualizar el proceso y las etapas involucradas en la elaboración y ejecución de una campaña *in situ*, donde existe una condición de desconocimiento amplio de las propiedades materiales (Figura 4).

²³ Carlos Javier Mendoza Escobedo, Jorge López Román y Francisco Hernández Díaz, “Método SONREB: una alternativa para la estimación de la resistencia a compresión en estructuras de concreto”, *Gaceta del Instituto de Ingeniería UNAM*, núm.160, 2023, pp. 7-9.

²⁴ Denys Breysse, *et al.*, *op. cit.*, pp. 25-26.



Conclusiones

De acuerdo con la información revisada a lo largo del documento se observa que, a pesar de que los ensayos no destructivos son útiles y pueden llegar a facilitar los procesos de inspecciones a las edificaciones de concreto, es necesario incorporar un rigor metodológico y un profundo conocimiento de los principios de

Figura 4. Propuesta de integración de los END al proceso de evaluación estructural.

Elaboración propia.

funcionamiento y procedimientos que conllevan. En este entendido, el requerimiento de personal capacitado tanto para la ejecución como para la interpretación de los datos es fundamental. Debido a la relativa facilidad y rapidez de algunos ensayos, como la esclerometría, existe el riesgo de que se perciban como “sencillos”, generando una carencia en el entendimiento de los factores, fuentes de incertidumbres, así como los riesgos que implica la obtención de resultados erróneos.

La mención y consideración del uso de los ensayos no destructivos en la NTC-RE es un punto de partida relevante para desarrollar investigaciones que se enfoquen en el desarrollo de estrategias aplicables a las inspecciones en los inmuebles. Asimismo, invita a reflexionar acerca de la utilidad de aquellos ensayos que no se contemplan dentro de la norma y que pueden proporcionar información complementaria, como es el caso de la resistividad eléctrica o las tomografías.

Si bien gran parte de las investigaciones referentes a ensayos no destructivos se ha enfocado en la estimación de la resistencia del concreto, ampliar el panorama hacia otras necesidades u aplicaciones sería favorable para generar registros del estado actual de las estructuras. Finalmente, hay que señalar de nuevo la importancia de entender los ensayos no destructivos como un complemento a los ensayos destructivos, así como la imposibilidad de sustituirlos.

Referencias

ANDRADE, MARIA DEL CARMEN, *ET AL.*

- 1992 "Identificación de presencia de cemento aluminoso en hormigones mediante el uso del pachómetro", *Informes de la Construcción*, vol. 44, núm. 419, <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1335/1631>.

BREYSSE, DENYS, *ET AL.*

- 2021 "In-Situ Strength Assessment of Concrete: Detailed Guidelines", en Denys Breysse y Jean-Paul Balayssac (eds.), *Non-Destructive In Situ Strength Assessment of Concrete Practical Application of the RILEM TC 249-ISC Recommendations*, Springer, <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-64900-5>.

DÁMAZO JUÁREZ, JOSÉ DANIEL

- 2006 "Pruebas No Destructivas del Concreto. Las Estructuras no son Eternas", *Construcción y Tecnología*, <http://www.imcyc.com/ct2006/mayo06/TECNOLOGIA.pdf>.

GARCÍA CUETO, ALFONSO

- 2007 *Introducción a los Ensayos No Destructivos*, Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos.

GIL, LAURA

- 2018 *After a Natural Disaster, Nuclear Technology Helps with Recovery*, IAEA, <https://www.iaea.org/newscenter/news/after-a-natural-disaster-nuclear-technology-helps-with-recovery>.

HOLA, JERZY Y KRZYSZTOF SCHABOWICZ

- 2010 "State-of-the-art non-destructive methods for diagnostic testing of building structures – anticipated development trends", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 10, núm. 3, [https://doi.org/10.1016/S1644-9665\(12\)60133-2](https://doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60133-2).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

- 2002 *Guidebook on Non-destructive Testing of Concrete Structures*, Training Course Series No. 17, IAEA.
- 2005 *Non-destructive Testing for Plant Life Assessment*, Training Course Series No.26, IAEA.

HENNINGS, PAULINE SOPHIE

- 2023 "Aplicación de técnicas nucleares en respuesta a desastres naturales en América Latina y el Caribe", *IAEA Bulletin*, IAEA.

MALHOTRA, MOHAN Y NICHOLAS CARINO

- 2004 *CRC Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*, CRC Press Inc.

MENDOZA ESCOBEDO, CARLOS JAVIER, JORGE LÓPEZ ROMÁN Y FRANCISCO HERNÁNDEZ DÍAZ

- 2003 "Método SONREB: una alternativa para la estimación de la resistencia a compresión en estructuras de concreto", *Gaceta del Instituto de Ingeniería UNAM*, núm.160.

NMX-C-275-ONNCCE-2020

- 2020 *Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico a través del concreto- Método de Ensayo*, México, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.

PAREDES CAMARILLO, EMMA

- 2012 "Inspección, Evaluación, Diagnóstico y Prognosis de la Arquitectura Moderna de Concreto Reforzado con Fundamentos de Durabilidad", tesis de doctorado en Arquitectura, UMSNH.

PROCEQ

- 2014 *Manual de Operación*, https://media.screeningeagle.com/asset/Downloads/Pundit%20PL-200_Operating%20Instructions_Spanish_high.pdf.
- 2017 *Profometer. Manual de Operación*, https://media.screeningeagle.com/asset/Downloads/Profometer_Operating%20Instructions_Spanish_high.pdf.

SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS

- 2023 "Acuerdo por el que se actualizan las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", *Gaceta Oficial de La Ciudad de México*, vigésima primera época, 6 de noviembre de 2023, https://drive.google.com/file/d/1Y2ntwcSuP_aartU4RgQDcoN-7c4rPHFy3/view.

SILVA, ALEJANDRA Y JOSEF WEILGUNY

2017 *How Nuclear Technology Helped Mexico after Strong Quake*, IAEA, <https://www.iaea.org/newscenter/multimedia/videos/how-nuclear-technology-helped-mexico-after-strong-quake>.

SOLÍS CARCAÑO, ROMEL GILBERTO

2021 "Evaluación de Columnas de Concreto con la Técnica de Ultrasonido", *Ingeniería y Desarrollo*, vol.39, núm.1.

UNE-EN 12504-4:2022

2022 *Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 4: Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos*, Asociación Española de Normalización.

Nohema Cassandra Ruiz Gómez

Universidad Nacional Autónoma de México

arq_ncrg@comunidad.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6643-8628>

Cursó el máster en Análisis Estructural de Monumentos y Construcciones Históricas en la Universidad de Minho y la Universitat Politècnica de Catalunya, así como la maestría en Arquitectura en la Universidad Nacional Autónoma de México en el campo de conocimiento de Restauración de Monumentos, donde obtuvo el grado con mención honorífica. Durante sus estudios fue invitada a cursar el taller internacional sobre Análisis Físicos y Químicos para la Conservación organizado por la Universidad Gabriele d'Annunzio, en Italia. Se ha desempeñado como docente a nivel licenciatura y maestría, además ha participado como ponente en congresos nacionales e internacionales. Cuenta con experiencia en elaboración y ejecución de proyectos de intervención a inmuebles históricos dañados por sismos.