

“MÉTODO SONREB”: UNA ALTERNATIVA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO

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

Resumen

En este artículo se presentan curvas de iso-resistencia que permiten estimar la resistencia a compresión del concreto a partir de ensayos no destructivos (número de rebote y velocidad de pulso ultrasónico), obtenidas de los modelos matemáticos lineal y no lineal, al implementar el método SONREB en muestras de concreto fabricadas con cemento y agregados que se utilizan con frecuencia en la construcción de estructuras en la Zona del Valle de México.

Introducción

Cualquier estructura es susceptible de sufrir daños provocados por algún tipo de siniestro, fenómeno natural o cambio de uso, por lo que es necesario realizar una evaluación estructural para determinar el nivel de daño que ha sufrido y proponer su rehabilitación; o bien, determinar si dicha estructura será capaz de soportar las nuevas solicitaciones a las que estará sometida.

Por lo anterior, los ensayos no destructivos (END) son una alternativa para estimar la resistencia a compresión de estructuras de concreto dañadas o en servicio, principalmente en casos donde dicha resistencia del material se desconoce; o bien, no es posible extraer muestras (núcleos). Los END de mayor uso son el número de rebote (NR), medido con el esclerómetro y la velocidad de pulso ultrasónico (VPU) debido a su relativa facilidad, rapidez de ejecución y a que el daño estructural que causan es nulo. Sin embargo, existen factores que pueden afectar los resultados de estos ensayos como son la edad, la humedad del concreto, el tamaño máximo de agregado (TMA) y la presencia de grietas, oquedades o acero de refuerzo, por mencionar algunos.

El método SONREB (SONic y REBound, por sus nombres en inglés) consiste en correlacionar los valores de NR y VPU con la resistencia a compresión del concreto que se obtiene en el ensayo de cilindros estándar o de muestras extraídas directamente de

la estructura para obtener los modelos matemáticos, lineal y no lineal (ecuaciones 1 y 2, respectivamente):

$$f'_c = a + b \cdot NR + c \cdot VPU \quad (1)$$

$$f'_c = a \cdot NR^b + VPU^c \quad (2)$$

donde f'_c es la resistencia a compresión del concreto; a, b y c son constantes que se obtienen mediante un análisis de regresión por mínimos cuadrados; NR es el número de rebote y VPU es la velocidad de pulso ultrasónico. Con estas expresiones, es posible obtener curvas de iso-resistencia como la que se muestra en la Figura. 1. Con una curva de este tipo, o bien, empleando directamente el modelo matemático que se obtenga, es posible estimar la resistencia a compresión del concreto a partir del valor de VPU y su correspondiente valor de NR del concreto puesto en servicio.

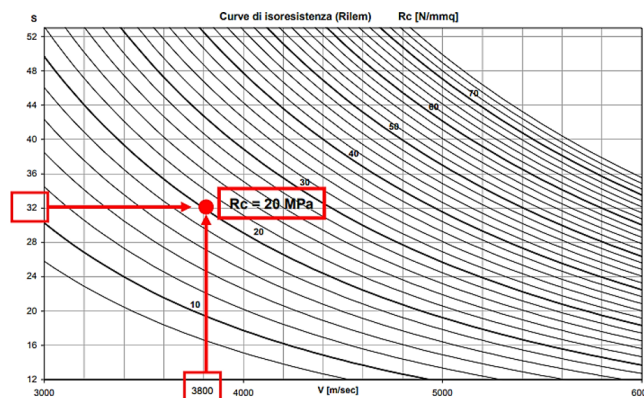


Figura 1. Ejemplo de curva de iso-resistencia obtenida con el modelo de tipo no lineal, RILEM NDT 4, 1993

Campaña experimental

Se fabricaron seis mezclas de concreto con agregado grueso calizo, TMA=19 mm (3/4 pulgada), agregado fino andesítico y cemento CPO 30R RS; se variaron los consumos de cemento (entre 250 y 500 kg/m³) y agua (entre 175 y 180 kg/m³) para alcanzar diferentes niveles de resistencia a compresión entre 19.6 MPa (200 kg/cm²) y 58.8 MPa (600 kg/cm²). De cada mezcla se obtuvieron 6 cilindros estándar de 15x30 cm; se utilizó el mismo cilindro en cada ensayo, el orden de ejecución fue: NR (fig. 2), VPU (fig. 3) y resistencia a compresión simple, esta secuencia de ensayos permite obtener una cantidad suficiente de datos para aplicar el método SONREB; la edad de ensaye fue de 28 días.

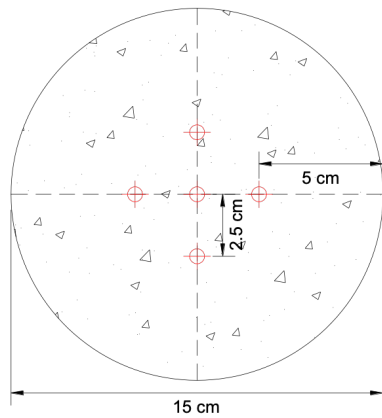


Figura 2. Distribución de puntos de aplicación del esclerómetro y forma de ejecución del ensayo

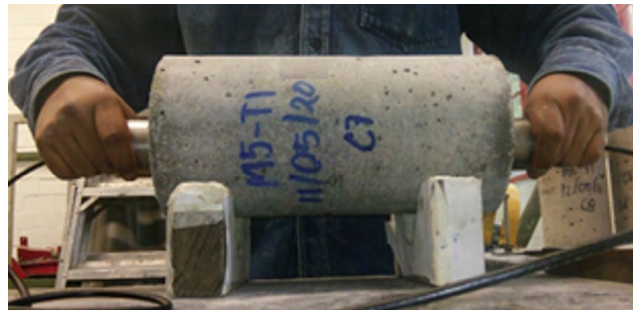


Figura 3. Equipo ultrasónico empleado en el estudio y forma de ejecución del ensayo

Resultados

En la tabla 1 se presentan los resultados promedio de los END y las propiedades mecánicas de los concretos en estudio.

Tabla 1. Resultados de END y propiedades mecánicas de los concretos en estudio

Mezcla	Consumo de cemento, kg	Relación A/C	END		Propiedades mecánicas		
			NR	VPU, m/s	f'_c (MPa)	E_c (MPa)	$E_c/\sqrt{f'_c}$
M1	250	0.72	25	3,717	20.6	22,304	4,915
M2	290	0.62	27	4,048	27.5	25,167	4,803
M3	350	0.51	31	4,261	33.5	25,405	4,387
M4	420	0.43	34	4,342	42.0	27,424	4,234
M5	460	0.39	36	4,329	46.7	26,766	3,915
M6	500	0.35	39	4,438	49.3	28,421	4,047

Como lo indica el método SONREB, se realizó un análisis de regresión múltiple y se determinaron los modelos matemáticos mostrados en las ecuaciones 3 y 4:

$$f'_c = -53.791 + 2.073 \cdot NR + 0.006 \cdot VPU \quad (3)$$

$$f'_c = 8.857 \times 10^{-7} \cdot NR^{1.613} \cdot VPU^{1.430} \quad (4)$$

Con estos modelos matemáticos se elaboraron las curvas de iso-resistencia que se muestran en la Fig. 4. El procedimiento que se llevó a cabo para elaborar estas curvas consistió en mantener constante el valor de la resistencia a compresión y variar el de VPU, obteniendo mediante un despeje el valor del NR, este procedimiento permite obtener curvas para diferentes niveles de resistencia.

Conclusiones

Para las mezclas en estudio, los revenimientos obtenidos se ubican entre 12.0 y 16.0 cm; las masas unitarias en estado fresco son mayores que 2,200 kg/m³ (concreto clase 1, NTC-Concreto, RCDF, 2017), los valores de resistencia a compresión están en el intervalo de 19.6 a 58.8 MPa (200 a 600 kg/cm²) y los valores de módulo de elasticidad de 22,304 a 28,421 MPa (227,438 a 289,814 kg/cm²).

Las curvas de iso-resistencia obtenidas en esta investigación tienen validez general si el concreto a analizar tiene las mismas características del concreto con el que se elaboraron dichas curvas, de lo contrario, para la estimación de la resistencia a compresión se recomienda conocer las características del concreto a estudiar para estimar los coeficientes de corrección, este paso permitirá hacer una estimación correcta y precisa de la resistencia del concreto.

Los coeficientes de correlación de ambos modelos están cercanos a la unidad y los errores promedio en la estimación de la resistencia son menores que 4%; por tanto, existe una correlación alta entre estos parámetros. Estos modelos (ecuaciones 3 y 4) y curvas de iso-resistencia (figuras 4 y 5) se pueden emplear en la estimación de la resistencia a compresión de estructuras puestas en servicio y/o dañadas que tengan características similares a la de los concretos de esta investigación.

Los ensayos de NR y VPU están influenciados de manera diferente por el mismo factor, el uso combinado de ambos da por resultado una cancelación de dicho efecto, mejorando la precisión de la resistencia estimada. Por ejemplo, en el caso del contenido de humedad del concreto, el NR medido disminuirá para valores altos de humedad, mientras que la VPU se incrementará conforme el contenido de humedad sea mayor.

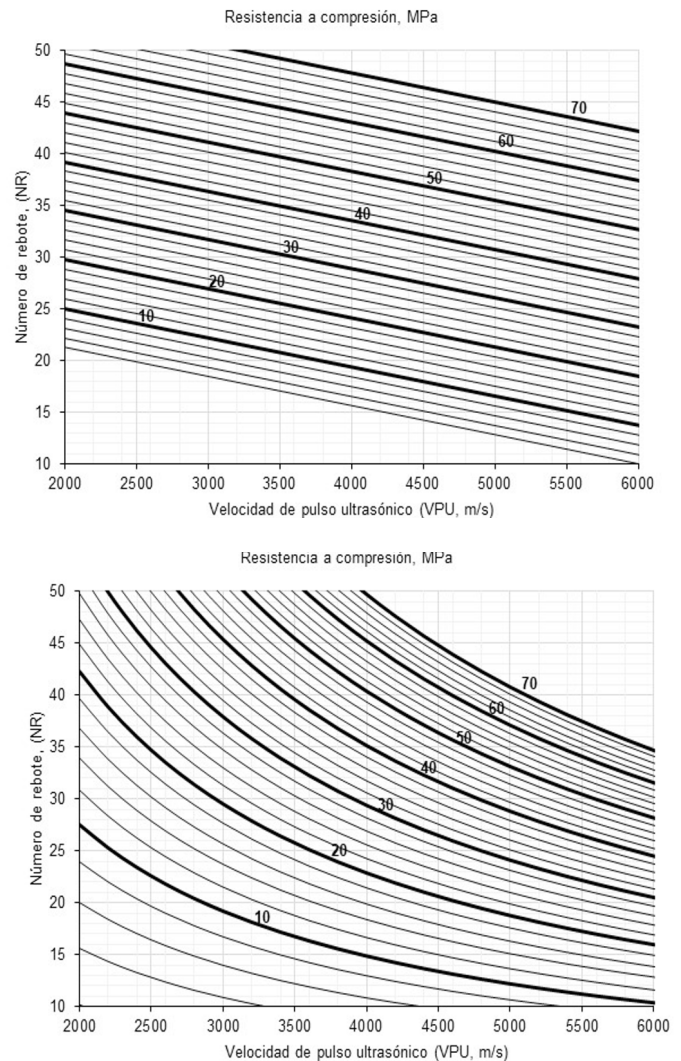


Figura 4. Curvas de iso-resistencia obtenidas con el modelo lineal (izquierda) y no lineal (derecha)

Referencias

- Breyse D. (2012). "Non-destructive evaluation of concrete strength: an historical review and a new perspective by combining NDT methods". *Construction and Building Materials*, 33, 5.
- Di Leo A. y Pascale G. (1994). "Prove non distruttive nelle costruzioni" in c.a. *Il giornale delle prove non distruttive*, n. 4.
- Facaoar I. (1993). "Draft recommendation for in situ concrete strength determination by combined non-destructive methods". *Materials and Structures*, 26.
- Gasparik J. (1992). "Prove non distruttive in edilizia". *Quaderno didattico AIPND*, Brescia.
- Malhotra V. M. y Carino N. J. (2004). "Handbook on Non-Destructive Testing of Concrete", 2nd ed, CRC Press, Boca Raton.
- RILEM NDT 4 (1993). "Recommendations for in situ concrete strength determination by combined non-destructive methods", *Compendium of RILEM Technical Recommendations*, E&FN Spon, London.