

# Determinación del índice esclerométrico en hormigones: factores que lo afectan

---

**Se analizan los principales factores que influyen en la determinación de la resistencia mecánica de un concreto evaluada mediante índice esclerométrico: tipo de cemento, contenido, tamaño y tipo del agregado, forma y textura de la superficie, posición del aparato, cabo rotación superficial, capas diferentes, condiciones de humedad superficiales, destreza del operador. Se concluye que la dispersión de resultados es bastante amplia, como para que sea de utilidad en casos prácticos.**

---

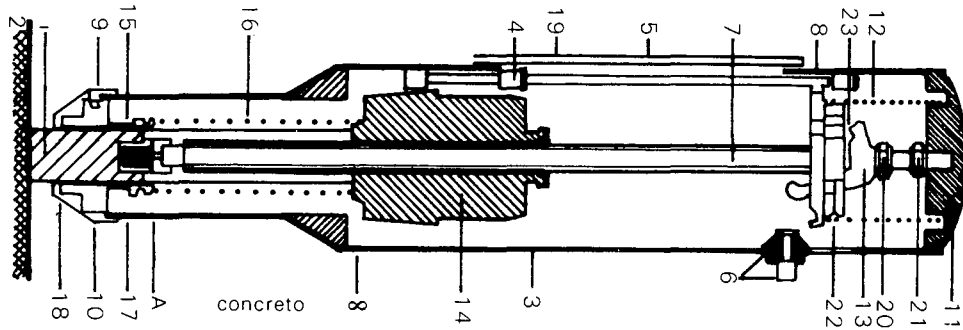
**J. GABRIEL GOMEZ CORTES**  
Ingeniero Civil M. Sc.  
Profesor Asistente U.N.

A pesar de reconocerse que la determinación del índice esclerométrico en hormigones es apenas un indicativo de su resistencia mecánica, con una gran variabilidad de resultados, es usado con frecuencia en nuestro medio. Sin duda alguna la razón de su popularidad se debe a un costo relativamente bajo, a la facilidad de su transporte y uso, a la existencia de abundantes curvas que correlacionan el índice con la resistencia compresión y probablemente al relativo desconocimiento existente sobre una serie de factores que pueden afectar, a veces de una manera importante, o incluso invalidar, las determinaciones hechas con este popular instrumento.

En primera instancia, y como otros ensayos no destructivos en hormigón, el sistema pretende inferir la resistencia a través de un sistema indirecto, la medición de su dureza superficial: en la medida que esta sea mayor, teóricamente también debe serlo aquella.

El aparato más conocido es el creado por el ingeniero suizo Ernst Schmidt en 1948. Se han creado cuatro tipos de martillos: 1. El estándar, para construcciones en general. 2. Una versión pequeña, para productos pequeños o de superficies muy sensibles al impacto. 3. Una versión para emplearse en grandes masas y secciones gruesas y 4. Un martillo tipo péndulo, para materiales de baja dureza y resistencia. Existen aparatos con registro automático de datos y se ha pensado en construir uno para empleo bajo agua.

El principio de trabajo del aparato es simple: una masa de cierta magnitud golpea sobre un pivote colocado en contacto con la superficie del hormigón. Al apoyar la varilla de percusión y hacer presión sobre el aparato, el resorte se comprime. Al llegar al final del recorrido el resorte se libera y la masa se proyecta con una determinada fuerza hacia la superficie del hormigón y rebota hacia el otro extremo del aparato, arrastrando en su camino un indicador, que se



1. Embolo de impacto. 2. Superficie de cemento. 3. Alojamiento. 4. Guía con vástago guía. 5. Escala. 6. Reten. 7. Guía de martillo, 8. Disco. 9. Tapadera. 10. Aro en dos partes. 11. Cubierta posterior. 12. Muelle de compresión. 13. Trinquete. 14. Masa

de martillo. 15. Aro de retén. 16. Muelle de impacto. 17. Manguito de guía. 18. Arandela de fieltro. 19. Ventanilla de plexiglas. 20. Tornillo de desplazamiento. 21. Contratuercas. 22. Pasador. 23. Muelle de trinquete.

FIGURA 1. Condiciones del impacto

desplaza sobre una escala graduada. El número marcado es lo que se denomina "índice esclerométrico". Un corte del aparato se muestra en la Figura 1. (Ref. 1).

No obstante, se han identificado una serie de factores que afectan su lectura. Entre los más notables están: 1. Tipo de cemento. 2. Contenido, tipo y tamaño máximo de agregado. 3. Textura y forma de la superficie. 4. Posición del aparato. 5. Carbonatación superficial del hormigón. 6. Diferentes capas de hormigón. 7. Condiciones de humedad de la superficie y 8. Destreza del operario.

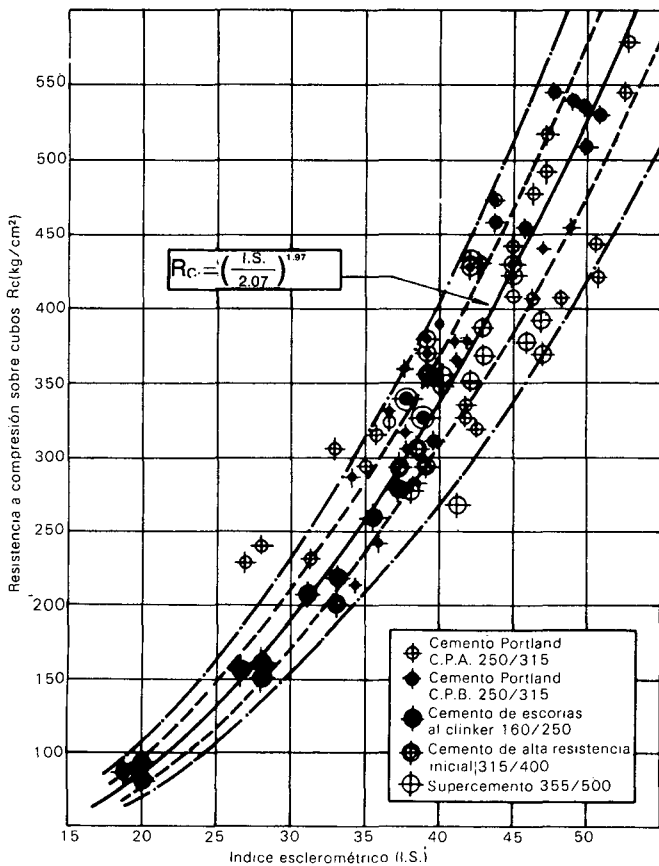


FIGURA 2. Influencia del tipo de cemento.

### TIPO DE CEMENTO

Se ha determinado que el tipo de cemento usado imprime una dureza superficial característica al hormigón con el confectionado. Estas diferencias en dureza superficial (y por tanto en índice esclerométrico) son mayores a medida que aumenta la resistencia a compresión del hormigón. Una variación obtenida por Chefdeville (Ref. 2) se muestra en la Figura 2. Se emplearon muestras de 20 X 20 X 60 cm sobre las cuales se determinó el índice esclerométrico y luego se cortaron cubos de 20 cm de arista para romper a compresión. Este hecho comienza a cobrar importancia en nuestro medio, donde empiezan a aparecer otro tipo de cementos diferentes al Portland I y aún éste generalmente trae incorporadas adiciones de naturaleza puzolánica.

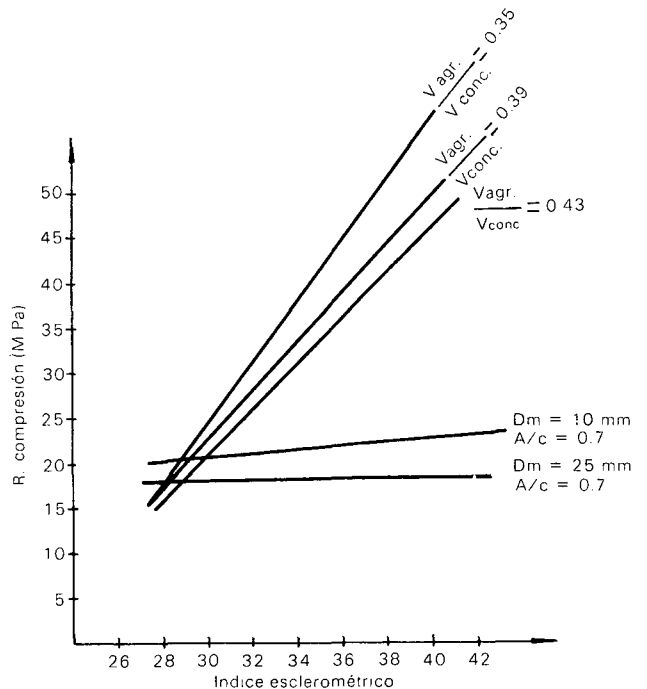


FIGURA 3. Influencia del contenido y tamaño máximo del agregado sobre el índice esclerométrico.

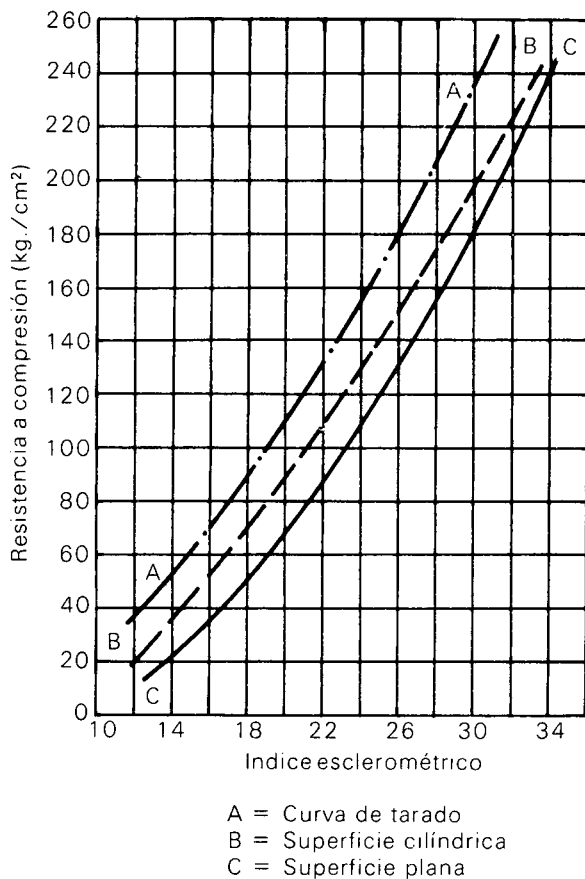


FIGURA 4. Relación entre la resistencia a compresión y el índice esclerométrico (probetas cúbicas y cilíndricas).

### CONTENIDO, TIPO Y TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

Se ha establecido que mayores contenidos de agregado por volumen de concreto (para agregados de peso unitario normal) conducen a valores más altos de índice esclerométrico y los tamaños máximos pequeños producen valores más altos que tamaños máximos grandes. Estos comportamientos se muestran en la Figura 3 (Ref. 4).

### FORMA Y TEXTURA DE LA SUPERFICIE

La forma de la superficie y la textura dejada por la formaleta introducen diferencias en las lecturas de índice esclerométrico. Superficies planas arrojan valores levemente superiores a las superficies curvas y las formaletas metálicas (que producen textura más lisa) llevan a valores de índice menores que las de cartón (no usadas en nuestro medio) y madera (muy frecuentes), como se desprende del análisis de las Figuras 4 y 5 (Ref. 3).

### POSICION DEL APARATO

Resulta evidente que, al depender el índice de la magnitud del rebote de la masa, el valor

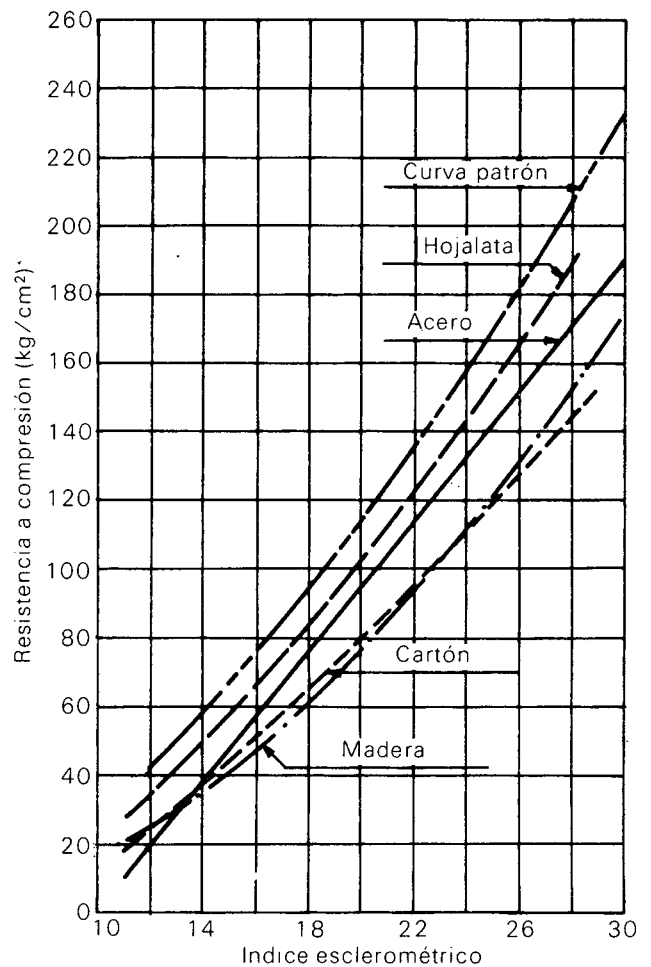


FIGURA 5. Resistencia a compresión e índice esclerométrico (influencia de los moldes).

determinado se verá afectado por la posición del aparato: horizontal, inclinado hacia arriba o hacia abajo, ya que la componente de la gravedad actuará de una manera favorable o desfavorable sobre el rebote de esa masa. Los productores de aparatos acostumbran colocar sobre cada uno de ellos unas curvas de calibración, para posiciones horizontal, inclinado hacia arriba o hacia abajo, dependiendo del valor del ángulo, como las mostradas en la Figura 6 (Ref. 1). Existen no obstante antecedentes en el sentido de que la separación de cada una de estas curvas debe ser mayor.

### CARBONATACION SUPERFICIAL DE HORMIGON

El hormigón presenta, con el paso del tiempo, un fenómeno de carbonatación de la superficie, que ocasiona un aumento de la dureza superficial, sin aumento de las resistencias mecánicas.

El anhídrido carbónico contenido en el aire penetra en el hormigón a través de los capilares y se combina con el hidróxido de calcio (Portlandita) disuelto en los poros del gel, formando carbonato de calcio neutro y agua:

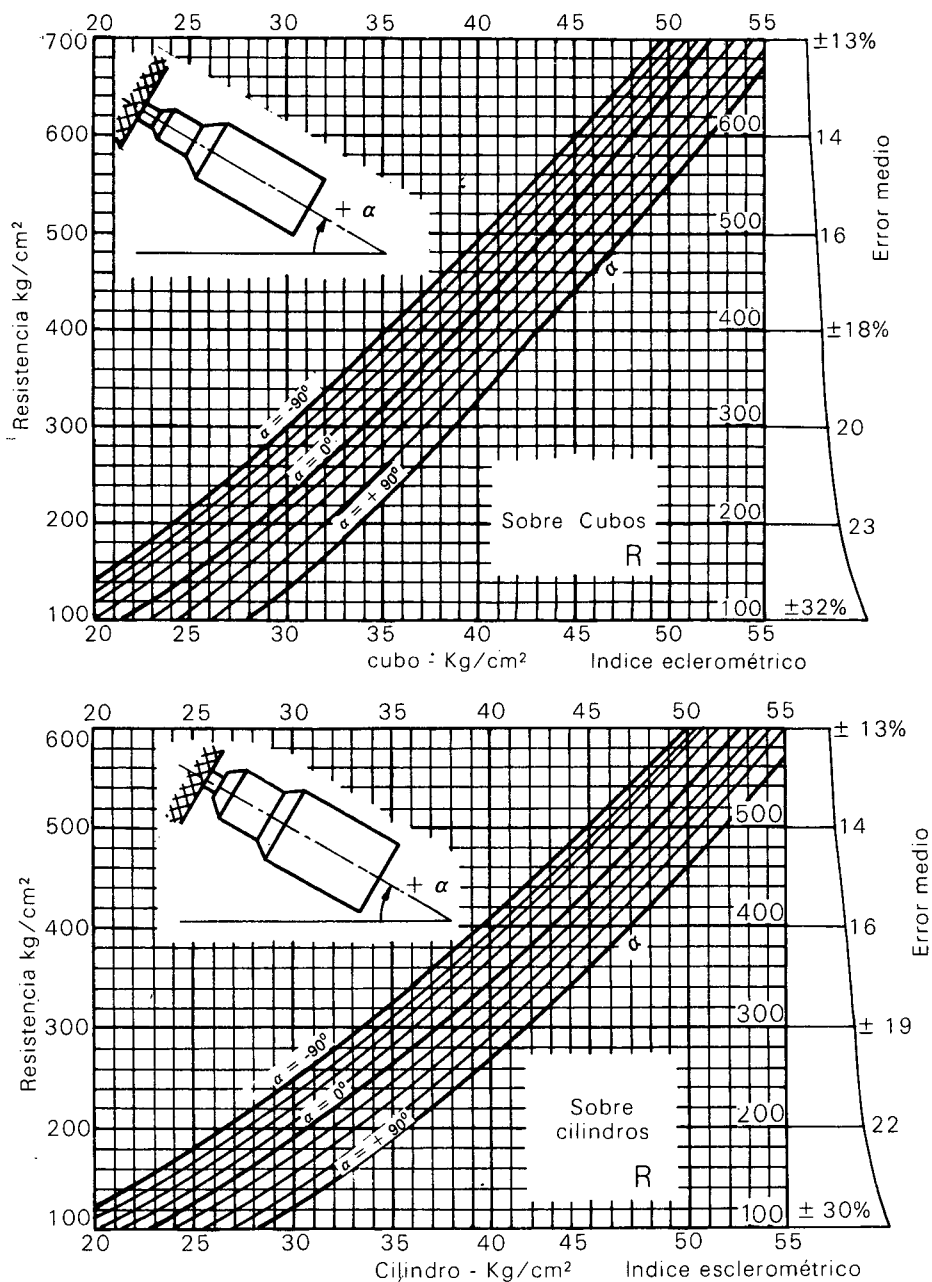
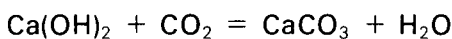


FIGURA 6. Influencia de la posición del aparato.



esto hace que el pH líquido contenido en los poros, que originalmente corresponde a valores de 12 a 13, se reduzca paulatinamente. Si este valor de pH es inferior a 9.5, el hormigón en cuestión se conoce como "hormigón carbonatado", que aparte de la mayor dureza superficial mencionada tiene el problema de que ese pH puede ser insuficiente para mantener pasiva la capa de óxido de las armaduras y, bajo la acción de oxígeno y humedad, facilitar el comienzo de corrosión.

La carbonatación progresará naturalmente del exterior al interior y su velocidad de penetración depende entre otros factores de:

- Humedad relativa del medio ambiente.
- Contenido de CO<sub>2</sub> del medio ambiente.
- Porosidad y contenido de cemento del hormigón

Se ha establecido que la profundidad de la carbonatación varía de unos 3 mm al cabo de 30 años para condiciones favorables, a unos 20 mm en 10 años para condiciones adversas. Aproximadamente se puede establecer la profundidad de la carbonatación mediante la expresión:

$$C = K\sqrt{T}$$

C: Profundidad de la carbonatación (mm)

T: Tiempo (años).

K: Parámetro que depende de condiciones límites (medio ambiente, calidad del hormigón), menor en cuanto mejor sea la calidad del hormigón y menos agresivo sea el medio ambiente y mayor en caso contrario. Varía ampliamente con valores que oscilan entre 0.5 y 10.

Según Delibes (Ref. 5) el parámetro K puede establecerse según la siguiente expresión:

Tabla 1

Influencia del cemento	Portland normal	Alta resistencia	Escorias 40% - 60%	Puzolánico
Valor de r(1)	1.0	0.6	1.4 - 2.2	1.7 - 1.9
Influencia del agregado	rodado de río	Arena nat. Grava lig.	Agregados livianos	Cenizas
Valor de r(2)	1.0	1.2	2.9	3.3
Influencia del aditivo	Normal	Aireantes		Plastificantes
Valor de r(3)	1.0	0.6		0.4

$$K = R\sqrt{a}$$

$$a = ((A/C) - 0.25) **2 / 0.3(1.15 + 3(A/C))$$

$$\left( a = \frac{((A/C) - 0.25)^2}{0.3(1.15 + 3(A/C))} \right)$$

$$R = r(1) * r(2) * r(3)$$

A/C: Relación agua/cemento

r(1), r(2), r(3) factores que dependen del cemento, agregados y aditivos empleados, según la tabla 1.

El autor no conoce curvas que muestren la influencia de este fenómeno en la determinación del índice esclerométrico, pero su influencia es ampliamente citada y constituye un tema interesante de reflexión e investigación.

### CAPAS DIFERENTES DE HORMIGON

Al existir dos o más capas de hormigón, se crea una discontinuidad en la superficie de contacto entre ellas, que altera el valor del índice esclerométrico determinado, situación que se hace más notable, si las capas presentan valores muy diferentes. Este comportamiento se ilustra en

la Figura 7. (Ref. 7). Sobra advertir que cuando el hormigón esta recubierto de una capa de mortero, es necesario retirarla para efectuar la determinación del índice.

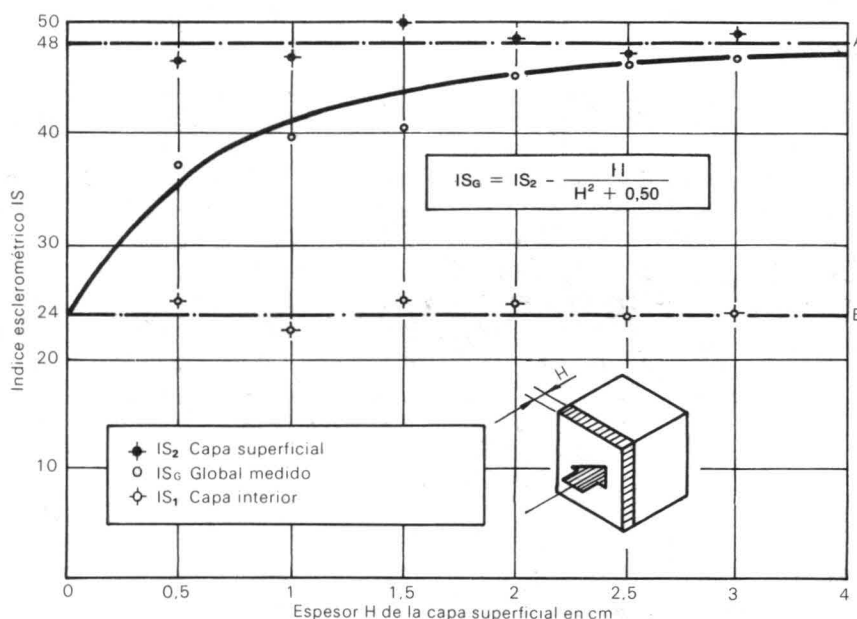
### CONDICION DE HUMEDAD SUPERFICIAL

La presencia de agua saturando los poros superficiales del hormigón ejerce un efecto amortiguador sobre el golpe de la masa, haciendo que superficies húmedas presenten menores valores de índice que las superficies secas, como se muestra en la Figura 8. (Ref. 8).

### DESTREZA DEL OPERARIO

Se ha detectado que la destreza del operador en ejercer presión sobre el resorte, de manera suave y gradual, evitando los "impulsos", también tiene influencia sobre los valores determinados. Ensayos efectuados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la U.N., mostraron las variaciones presentadas en la tabla 2, todos evaluados sobre los mismos puntos, en un bloque de dimensiones 1.2 X 1.2 X 0.9 m, en dos sitios diferentes y a los tercios de la altura (ver foto 1).

Como se desprende del análisis de la tabla, para un mismo punto existen diferencias hasta de



A Valor medio del índice esclerométrico de la capa superficial IS<sub>2</sub>

B Valor medio del índice esclerométrico de la capa interior IS<sub>1</sub>.

FIGURA 7. Variación del índice esclerométrico global medido, con el espesor de la capa superficial

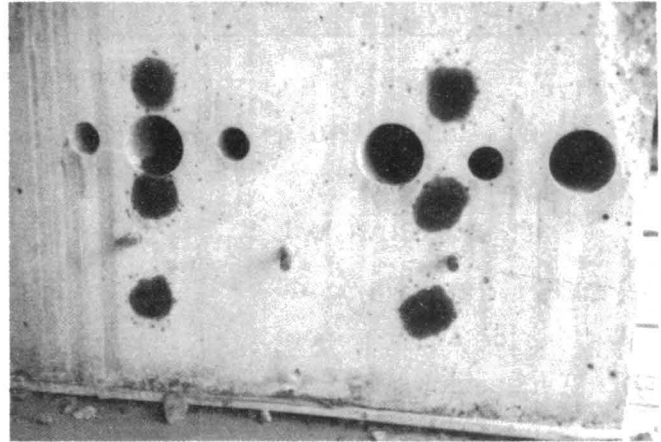
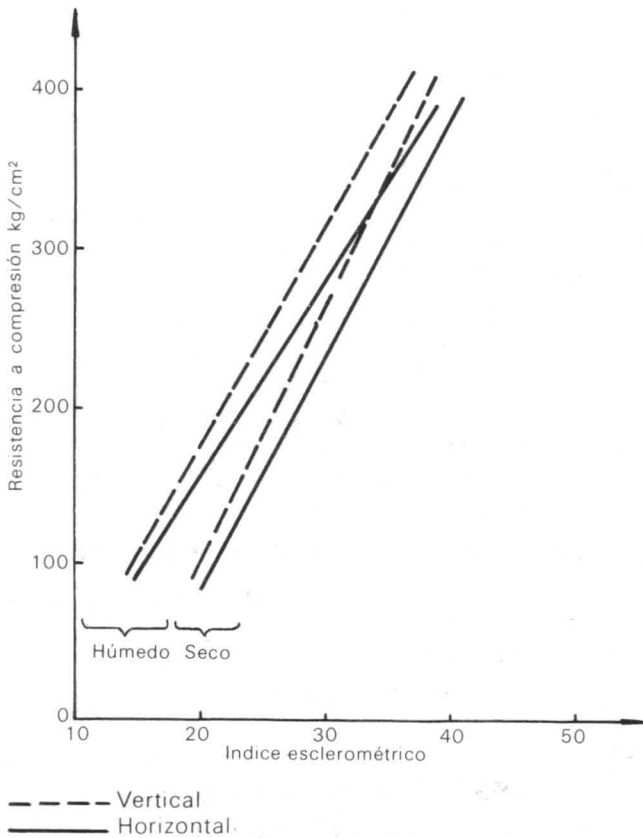


FOTO 1.

FIGURA 8. Influencia de la posición del aparato y condición de humedad de la superficie en lecturas de índice esclerométrico (Ref. 6).

Tabla 2

	Izquierda				Derecha			
	(A)	(B)	(C)	(D)	(A)	(B)	(C)	(D)
Arriba	I R 32 (1)	I R 37 (8)	I R 34 (3)	I R 35 (6)	I R 32 (3)	I R 35 (8)	I R 34 (4)	I R 33 (4)
Centro	I R 31 (1)	I R 38 (8)	I R 35 (5)	I R 39 (8)	I R 36 (7)	I R 35 (7)	I R 35 (5)	I R 37 (10)
Abajo	I R 32 (3)	I R 36 (4)	I R 36 (5)	I R 38 (6)	I R 36 (9)	I R 41 (6)	I R 37 (6)	I R 39 (11)

I: Índice esclerométrico determinado (promedio de seis lecturas).  
 R: Recorrido de lecturas (mayor valor - menor valor)  
 (A): Laboratorista con experiencia

(B): Laboratorista sin experiencia  
 (C): Ingeniero con experiencia  
 (D): Estudiante de tesis, sin experiencia

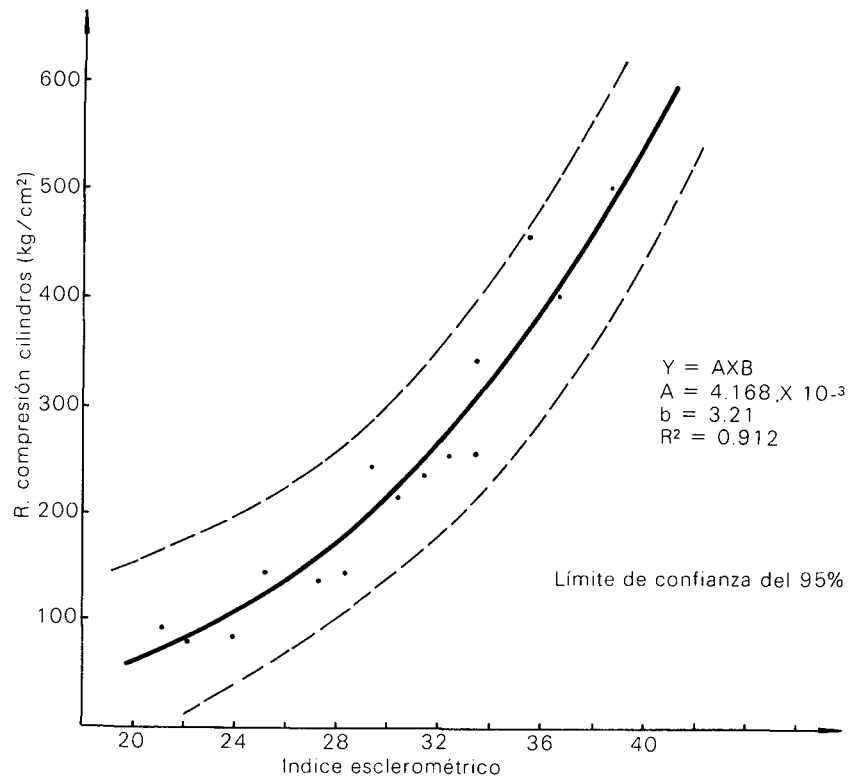
ocho en índice esclerométrico, con recorridos que oscilan entre 1 y 8 de diferencia.

**COMPARACION DE CURVAS**

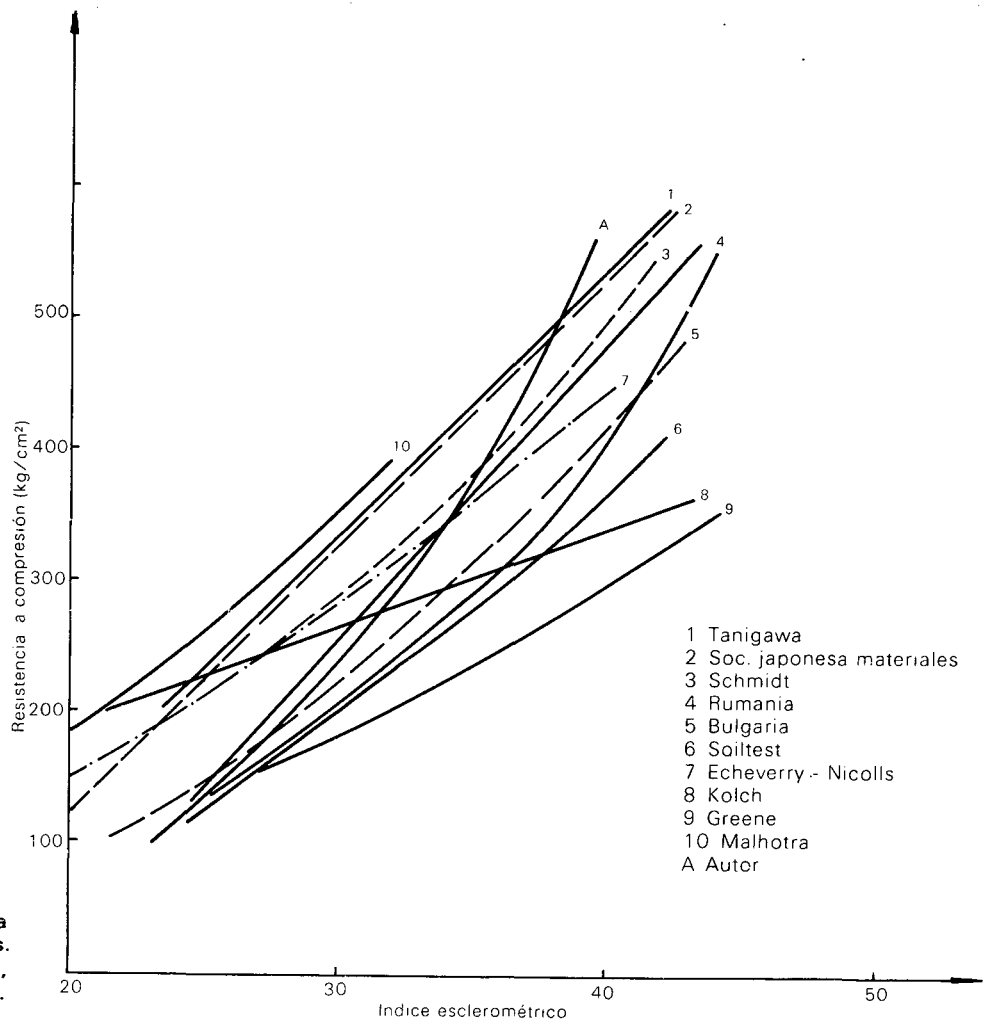
Como se ha mencionado, a pesar de haberse reconocido y enfatizado la necesidad de contar con curvas de calibración para cada tipo de aparato y de hormigón (lo que implica cada marca de cemento, tipo de agregado y sistema de curado), es relativamente frecuente en nuestro medio emplear las curvas que trae el aparato, o las suministradas por libros, olvidando que estas fueron obtenidas en otros medios y bajo diversas condiciones, en ocasiones radicalmente diferentes a las de nuestro medio y nuestros hormigones.

Con el fin de tener un criterio de información para hormigones de la ciudad de Bogotá, se efectuaron en el Laboratorio de Ensayo de

Materiales del Instituto de Ensayos e Investigación de la U.N., determinaciones de índice esclerométrico en cinco tipos de hormigones con diferentes relaciones agua/cemento (Ref. 9). Con cada tipo de hormigón se fundió un bloque de dimensiones 1.2 X 1.2 X 0.9 mts, en tres capas de altura aproximadamente igual, compactadas con vibrador en puntos separados unos 30 cm. y curados rociando agua durante las primeras 48 horas en la cara expuesta y retirada la formaleta al cabo de ese tiempo. De cada tipo de hormigón se tomaron 9 cilindros de 15 X 30 cm para ser ensayados a edades de 7, 28 y 90 días. A las mismas edades se determinaron sobre los bloques, en dos caras opuestas, a alturas aproximadas de 25, 50 y 75 cm, en los lados izquierdo y derecho, lecturas de índice esclerométrico, a razón de 6 por cada punto y luego promediadas las 24 de cada altura (Ver foto No. 1). Los resultados fueron comparados



**FIGURA 9. Resistencia compresión cilindros vs. índice esclerométrico bloques.**



**FIGURA 10. Resistencia a compresión vs. índice esclerométrico, según diversos investigadores.**

con la resistencia a compresión evaluada mediante cilindros estandarizados, ajustándose a la regresión que diese el mayor coeficiente de determinación (en este caso la exponencial) y determinada la zona de intervalo de confianza del 95%. En total fueron determinados 1.080 valores de índice, correspondientes a 3 edades, 5 dosificaciones, 3 alturas y 4 puntos por altura. Los resultados se muestran en la Figura 9. La curva obtenida se comparó con otras 10, extraídas de referencias bibliográficas, 9 de ellas foráneas, como se muestra en la Figura 10.

Los comentarios prácticamente resultan redundantes. Es evidente la gran dispersión de resultados suministrados por las curvas, como es apenas lógico puesto que son obtenidas de hormigones con características diferentes. Allí se puede observar que un hormigón que arroje una lectura de índice de 30 puede ser juzgado

como de resistencia 180 kg/cm<sup>2</sup> si se juzga por una de las curvas y de 350 ks/cm<sup>2</sup> si se juzga por otra de ellas y que si se obtiene un índice de 40, la resistencia estimada puede ser de 280 ó 500 kg/cm<sup>2</sup> dependiendo de la curva usada. También resulta evidente que mientras unas curvas son lineales, con pendientes e intersecciones diferentes otras (incluida la obtenida por el autor) son exponenciales, es decir para estas la sensibilidad del índice esclerométrico disminuye con el aumento de resistencia del hormigón evaluado. Finalmente, de la Figura 9 se observa que el intervalo de confianza del 95% obtenido es francamente amplio:  $\pm 79$  kg/cm<sup>2</sup>, es decir la resistencia a compresión evaluada mediante esclerómetro según esta curva será de un determinado valor  $\pm 79$  kg/cm<sup>2</sup> (para garantizar una probabilidad de acierto del 95%), valor muy amplio para que sea muy útil en los casos prácticos.

## REFERENCIAS

1. Soiltest: El martillo para ensayos de cemento. Boletín de productos. Illinois, 1966.
2. Chefdeville F.: Ann de L'Institut Tech. Batiments et Travaux Publics. No. 95, Nov. 1966 (Citado por Ref. 3).
3. Tobio J.M Ensayos no destructivos: métodos aplicables a la construcción. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Madrid, 1967.
4. Tanigawa Yasuo, Baba Kenji, Mori Hiroshi: Estimation of concrete Strength by combined nondestructive testing of concrete. ACI Special Publication SP-82. Detroit, 1984.
5. Delibes Liniers Adolfo: Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón. Instituto Técnico de Materiales y Construcciones INTEMAC, Madrid, 1987.
6. Sika Internacional: Hormigón: Sanear, reparar, proteger. Zurich S.F.
7. De la Fuente Sánchez Antonio: Aplicación y uso del esclerómetro. Comunicaciones técnicas del INCE. Barcelona No. 2. S.E.
8. Neville Adam M.: Properties of Concrete. Isaac Pitman & Sons. Londres, 1963.
9. Gómez Cortés, José Gabriel. Evaluación de la resistencia del hormigón en la obra: comparación de métodos. Tesis de posgrado. Facultad de Ingeniería, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1986.