
NOTAS TECNICAS

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DEL HORMIGON POR MEDIO DE ULTRASONIDO

Ernesto GOMEZ G.*



RESUMEN

Se analiza cualitativamente la precisión de la relación entre la velocidad del ultrasonido en el hormigón y su resistencia y se hace ver que el método no es adecuado para el control del hormigón en obra, pero sí es muy útil en aplicaciones de laboratorio.

INTRODUCCION

La transmisión del ultrasonido, vibraciones de alta frecuencia, 100 a 250 kc, a través del hormigón, ha sido tema del interés de muchos investigadores desde hace mucho tiempo.

Hace más de 30 años se dieron los primeros pasos sistemáticos sobre esta modalidad experimental y ya en 1949, R. Jones, del Road Research Laboratory, de Gran Bretaña, publicó un artículo en el Magazine Concrete Research (nº 2, junio 1949) en que exponía, por primera vez, su labor pionera sobre el tema. Ahí exponía los fundamentos del método y exploraba la mayoría de los numerosos parámetros de que depende la velocidad de transmisión.

Entonces se abrieron muchas esperanzas de que ese procedimiento proporcionaría la tan anhelada solución al problema de establecer la calidad del

* Investigador de IDIEM.

hormigón de obra por métodos no destructivos. Pero, desgraciadamente, no se ha cumplido el anhelo, porque el método, con ser excelente herramienta de laboratorio, no es muy apropiado, en cambio, para aplicación en obra, por la precisión requerida en cada uno de sus detalles experimentales.

Las experiencias de Jones, descritas en el artículo citado, son un buen anuncio de lo que aquí se afirma, según se expondrá a continuación y en el mismo sentido están los argumentos que siguen.

Es sabido que la velocidad de transmisión de las ondas en un material depende del módulo de elasticidad, $v \approx E^{1/2}$, y como el módulo de elasticidad del hormigón está relacionado empíricamente con la resistencia a la compresión, R , por una relación del tipo $E \approx R^{1/2}$ o $E \approx R^{1/3}$, se deduce que hay una relación entre la primera y esta última. Se la puede expresar como $v \approx R^{1/5}$ o $v \approx R^{1/6}$. Estas son unas relaciones bastante débiles y si se analizan cuantitativamente se ve que, para obtener, por ejemplo, una precisión de 10% en la resistencia se requiere una precisión de 1.9% o 1.6% en la velocidad y parte 20%, de 3.7% o 3.1%.

Ahora bien, no es fácil que la medida del camino recorrido por el impulso ultrasónico, del cual depende directamente el valor calculado de la velocidad, se pueda hacer en obra con precisiones de ese orden. Tampoco se puede reproducir con facilidad en obra las condiciones de contacto de los captadores, cuyas diferencias inevitables dan lugar a variaciones de velocidad mayores que 1%. Estas dos razones, por sí solas, bastan para convencer de que el método no puede dar precisión suficiente, en obra, y a ello hay que agregar la influencia de los demás parámetros que influyen y que en una obra están sujetos a variaciones impredecibles.

Los resultados de Jones de 1949 ya hacen ver las numerosas fuentes de variabilidad de los resultados, como la compactación del hormigón, el porcentaje de huecos, la relación árido-cemento, la razón agua-cemento, la edad etc., todas las cuales enmascaran la relación principal velocidad-resistencia. Después de Jones ha habido muchos trabajos sobre el tema y casi siempre se ha vuelto a encontrar las mismas tendencias.

En una serie de experiencias con hormigones de características semejantes se encuentra que la velocidad de transmisión está significativamente relacionada con la resistencia del hormigón. Por ejemplo, en la Fig. 1 se reproducen los resultados de experiencias hechas en IDIEM con tres tipos de hormigón, que se pueden considerar semejantes porque están confeccionados con los mismos áridos y cemento, pero tienen variaciones en la razón agua-cemento y en la relación árido-cemento, como se indica en la figura.

No hay ninguna duda de que la velocidad varía con la resistencia. Se ha trazado una sola curva media representativa a partir de un análisis estadístico de todos los datos, la cual corresponde a la relación

$$v = 1980 \cdot R^{0.157}$$

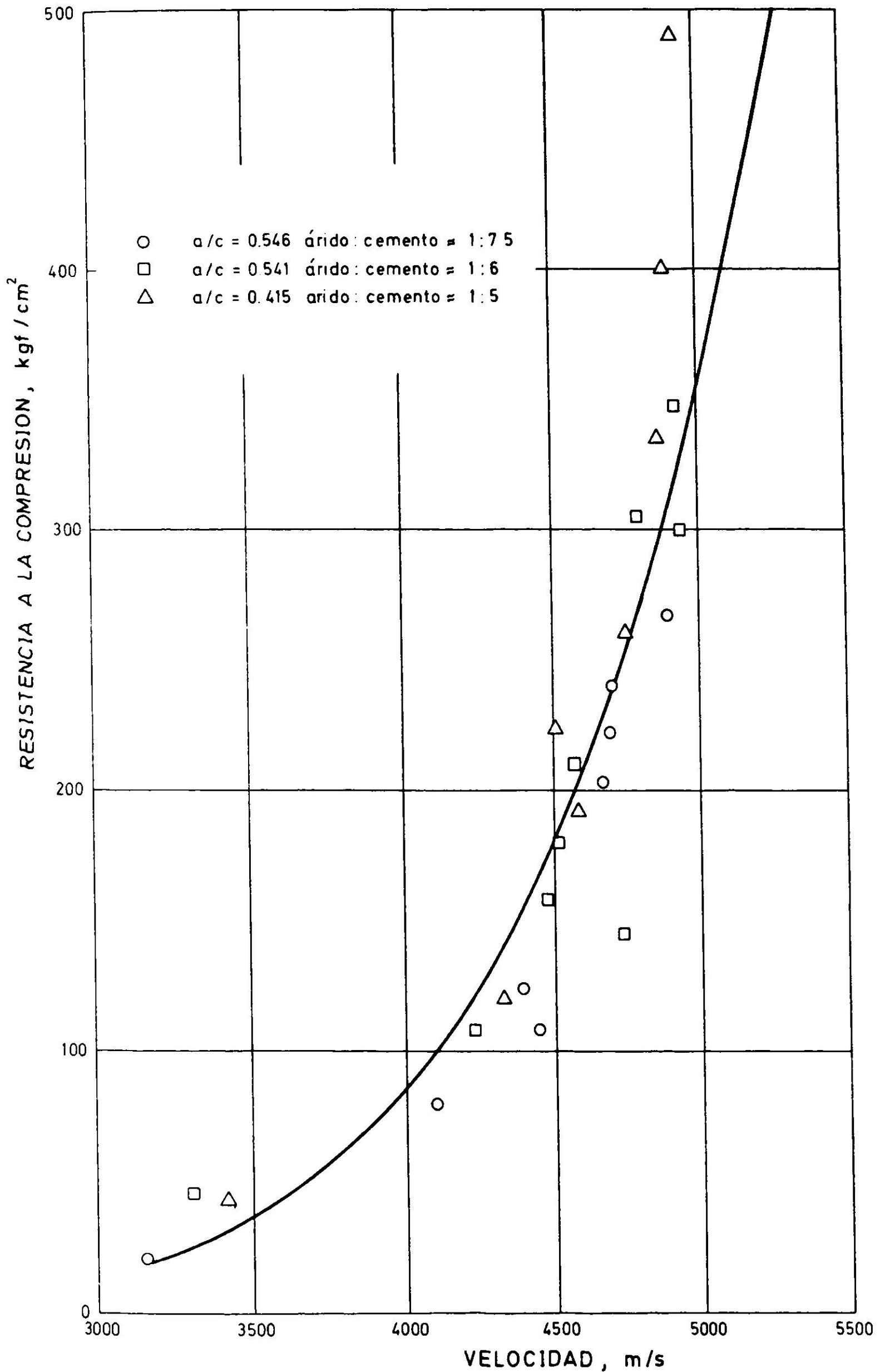


Fig. 1. Relación entre resistencia a la compresión y velocidad del ultrasonido.

Entre los tres tipos de hormigón hay diferencias que no son tan importantes como para tratarlos separadamente.

La curva de la Fig. 1 tiene básicamente las mismas características que las de Jones y que las de casi todas las que se han dado a conocer en diversas publicaciones. Nos interesa destacar que mientras la resistencia aumenta 22 veces, la velocidad sólo crece un 67% y esta constatación refuerza la afirmación anterior que el procedimiento no tiene sensibilidad suficiente para ser aplicada en obra.

Viene al caso citar un comentario de A.M. Neville (Properties of concrete, 3ª edición, p. 583) sobre este punto "Es justo agregar que el uso de medidas de impulsos ultrasónicos como un medio de control de calidad del hormigón en obra no es práctico; aparentemente no hay una relación satisfactoria entre la variabilidad de los cubos a compresión y la variabilidad de la medida de los impulsos"... "En condiciones de laboratorio se ha medido una desviación estándar de 160 m/s en hormigón de buena calidad".

Esa desviación puede estar alrededor del 4% de la velocidad y a ella podrían corresponder variaciones de resistencia calculada de 25% o más.

En obra hay que pensar en variaciones superiores a esa, lo que deja al método fuera de utilidad práctica para los efectos de estimar la resistencia en obra.

Hay un campo, sin embargo, en que la medida de la velocidad presta muy buenos servicios. Es el de hacer medidas sucesivas, a lo largo del tiempo, en un mismo hormigón y en los mismos puntos, o sea, ir viendo cómo varía la velocidad de transmisión del ultrasonido en el hormigón a medida que se endurece en determinadas condiciones. Aplicado en esta forma, se eliminan casi todos los factores de variabilidad, con excepción de la variación de resistencia, que es la que interesa medir.

Esta técnica puede dar resultados en piezas de hormigón prefabricado o bien en pos o pretensado en que, con una calibración previa, se puede fijar con muy buena aproximación la fecha en que ya la resistencia del hormigón es suficiente para tensar o destensar, respectivamente.

Se puede comenzar a medir a las pocas horas de preparado el hormigón y continuar a intervalos prefijados hasta que se obtenga la velocidad esperada. Es este tramo inicial —aumento de resistencias de 20 a 200 kgf/cm², por ejemplo— el incremento de velocidad puede ser de más de 40%.

En la Fig. 2 hay un intento de ilustración de estos argumentos. Se presentan los resultados de medidas de velocidad en cilindros de hormigón preparados en IDIEM, hechas a partir de las 24 horas y a diversas fechas, algunas de ellas hasta completar 360 días y otras sólo hasta la fecha de ensayo a la compresión de los correspondientes cilindros.

Se ve que los aumentos netos de velocidad se producen hasta alrededor de 4 días y ese es, por tanto, el período en que el método tiene mayor poder de resolución, en concordancia con la posibilidad de ir siguiendo la resistencia a

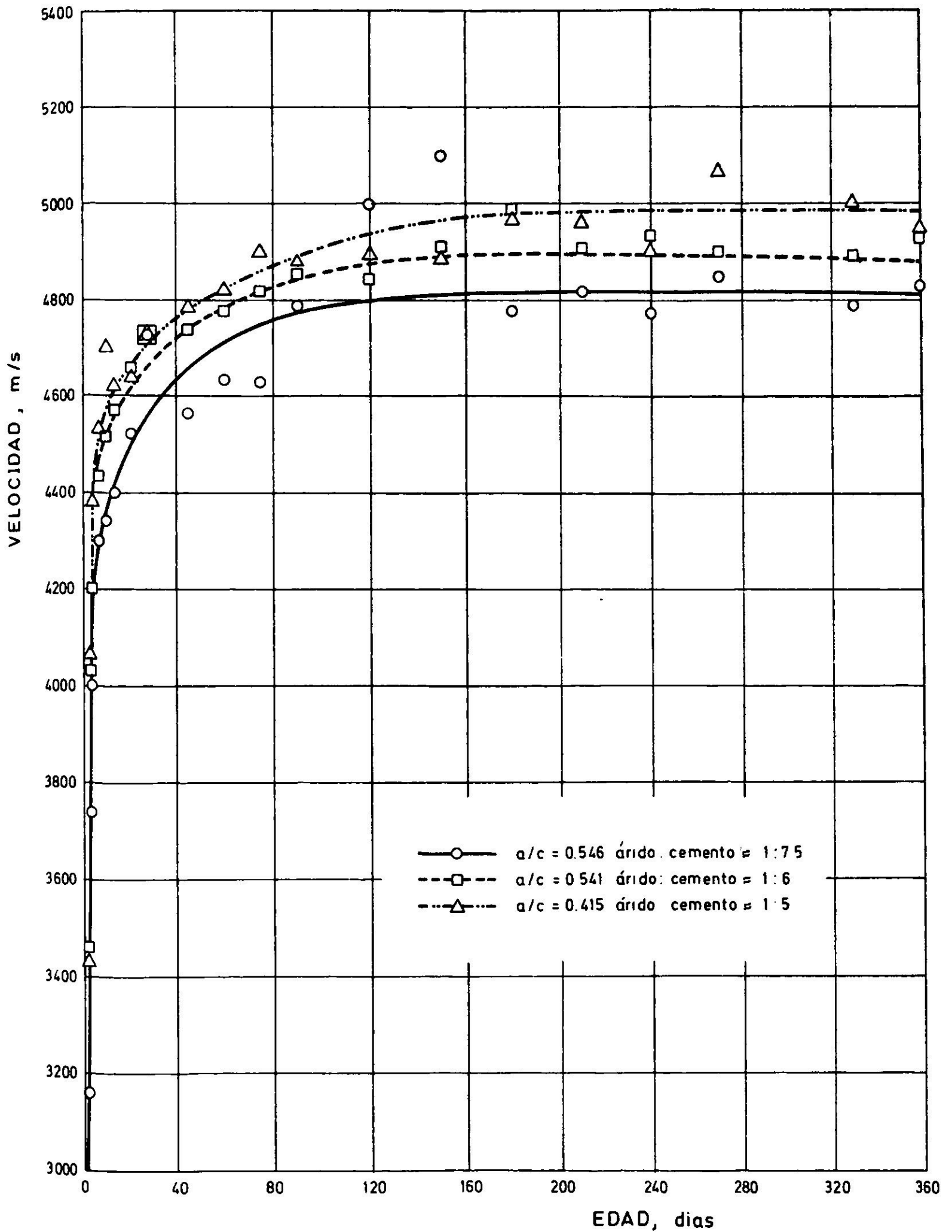


Fig. 2. Relación entre la edad y velocidad del ultrasonido.

las primeras edades.

En conclusión, la medición de la velocidad de ondas ultrasónicas en el hormigón, si bien proporciona información significativa, no sirve, sin embargo, como medio práctico de control del hormigón en obra, porque la relación entre velocidad y resistencia del hormigón es bastante débil y queda encubierta por la variabilidad de muchos factores incontrolables.

En cambio, es un medio muy útil en laboratorio, entre otras cosas, para seguir el endurecimiento a las primeras edades, o los efectos producidos por ciclos de exposición a congelación y deshielo, ambientes agresivos y otros. En forma parecida puede usarse en obras; por ejemplo, para ir siguiendo algún proceso de curado en determinadas condiciones, la evolución del endurecimiento en tiempos fríos, para establecer las fechas adecuadas de tensado o destensado, etc.

Hay todavía otra aplicación relacionada con la técnica de ultrasonido, que no se ha mencionado en el texto, porque está todavía en desarrollo. Se trata de la detección de defectos de confección y de elementos constructivos defectuosos. En este caso el procedimiento es más complicado, porque no basta con medir el tiempo de transmisión de la señal, si no que se requiere analizar la señal misma y distinguir sus alteraciones, especialmente la pérdida de energía del impulso en su propagación a través del espesor de hormigón. La técnica se complica más, porque, al parecer, las ondas adecuadas para esta auscultación son las transversales, que requieren generadores y medios de acoplamiento mucho más elaborados que las ondas longitudinales. En el Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, n° 243, de 1975, aparece un interesante artículo de G. Rehm, N.V. Waubke y J. Neisecke en que exponen resultados muy promisorios obtenidos en sus primeros intentos de puesta a punto de una técnica para lograr esos objetivos.