

PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE ESCLEROMETRÍA Y ULTRASONIDO

Ing. Christian R. Vecca Vallejos , Ing. Ricardo S. Lucero Suzuki
Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Asunción - email: crvecca@yahoo.com

Palabras claves: Ensayos No Destructivos, Esclerometría, Ultrasonido.

RESUMEN

En la actualidad es muy utilizada la evaluación de estructuras mediante ensayos no destructivos, debido a su simplicidad, versatilidad y repetibilidad. De entre todos los Ensayos No Destructivos (END) existentes, los mas utilizados en Paraguay son el ensayo de esclerometría y el ensayo de ultrasonido. Pero es indispensable tener precauciones en la interpretación de los resultados obtenidos, ya que el carácter heterogéneo del hormigón, provoca gran variabilidad en sus propiedades físicas y por tanto en los resultados de los ensayos no destructivos.

El objetivo del presente estudio es cuantificar la influencia que ciertos parámetros muy vinculados al hormigón, poseen en los resultados de los END de esclerometría y ultrasonido, para lo cual experimentalmente se manipularon tres variables que forman parte del hormigón y de su dosificación misma: Tamaño Máximo del Agregado Grueso, relación entre el Agregado Grueso y Fino, así como también la humedad del hormigón durante la realización de los ensayos. Adicionalmente se realizaron ensayos de esclerometría y ultrasonido, en probetas en las que fueron introducidas barras de acero, para evaluar la influencia que estas, podrían tener en los resultados de ambos ensayos.

1. Introducción

Los Ensayos No Destructivos (END) son aquellos cuya aplicación no afectan al hormigón desde ningún punto de vista.

El ensayo de esclerometría, se realiza con un equipo estandarizado que posee en su interior una masa metálica que, impulsada con una energía de percusión, choca contra el hormigón sobre una superficie de contacto. La cantidad de energía recuperada en el rebote de la masa, permite obtener un índice de dureza de la superficie ensayada, sobre una escala graduada acoplada al equipo, que se denomina Índice Esclerométrico (I.E.).

El ensayo de ultrasonido, se realiza esencialmente con aparatos basados en producir ondas ultrasónicas y mediante transductores electroacústicos, estas se pasan por la masa de hormigón, para luego medir el tiempo de recorrido y conociendo la distancia, su velocidad.

En los resultados de ambos ensayos intervienen propiedades físicas del hormigón, por ello es lógico pensar que los agregados ejercen una influencia significativa, pues este es un componente que ocupa alrededor del 60% al 80% del volumen total del hormigón. Por ejemplo, en el caso particular del ensayo de ultrasonido, el tiempo de propagación de las ondas en el hormigón, es la suma de los tiempos de propagación en la pasta de cemento y en el agregado. Así mismo el esclerómetro proporciona una carga dinámica al hormigón que le produce una deformación elasto-plástica, que depende en gran medida de las propiedades elásticas y densidad del hormigón y por lo tanto de las propiedades y tamaño del agregado que lo compone. Un componente que también puede poseer una influencia es la humedad del hormigón y la presencia de barras de acero.

2. Metodología utilizada en la investigación

Para la presente investigación fueron utilizados agregados basálticos triturados de la zona de la Ciudad de Ñemby, se preparo hormigón con tres diferentes tamaños máximos de agregados gruesos, provenientes de la misma cantera y denominados en el mercado paraguayo triturada Tercera, Cuarta y Quinta, que corresponden a los tamaños máximos de 38 mm; 25,4 mm y 12.7 mm

respectivamente según ensayo de granulometría hecho en nuestra investigación en particular. Con lo anterior se forman 3 conjuntos de hormigones que al ser de la misma cantera mantienen constantes las propiedades de los agregados; de tal manera que, dentro de los 3 conjuntos este factor no sea una variable. Con cada uno de los agregados se prepararon hormigones con 4 relaciones Agua/Cemento diferentes: 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, buscando cubrir el intervalo de resistencias de hormigones que más se utilizan en nuestro país para estructuras, que van desde 180 kg/cm² hasta 300 kg/cm². Así, se formaron 4 subconjuntos de hormigones en los que se mantuvo constante el principal parámetro que define la resistencia del material, la relación Agua/Cemento, de tal manera que dentro de los 4 subconjuntos esta relación no es una variable.

Adicionalmente, para cada uno de los 4 subconjuntos anteriores (definidos por la relación Agua / cemento) se prepararon hormigones con 3 relaciones Grueso / fino diferentes (en volúmenes absolutos): 60%/40%, 55%/45% y 65%/35%, buscando cubrir el rango de las posibles combinaciones de agregados grueso y agregado fino que se utilizan, que van desde mezclas muy gravosas, hasta mezclas plásticas ricas en mortero.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se probaran 12 hormigones diferentes para cada uno de los 3 tamaños máximos de agregado grueso, con lo cual se totalizan 36 tipos diferentes. En la **Figura 1** se puede apreciar el esquema general del experimento y la codificación asignada a cada tipo de hormigón.

Para la dosificación fue utilizado el método del A.C.I. (American Concrete Institute), por ser el más utilizado en nuestro país. Para cada tamaño máximo fue adoptada una cantidad fija de agua, que será la cantidad de agua sugerida por el ACI y se irá variando la cantidad de cemento de cada mezcla para obtener las distintas relaciones Agua/Cemento, manteniendo de esta manera fijos los demás parámetros. Para lograr las distintas combinaciones porcentuales entre los agregados gruesos y finos se manipuló a propósito el volumen de agregados grueso por unidad de volumen sugerido por el ACI, lo cual es perfectamente válido, pues la publicación del ACI reza de que estos volúmenes tabulados son empíricos y pueden ser modificados cuando se desea lograr

mezclas de determinada trabajabilidad. Además en la preparación de todos los hormigones, fue utilizado un plastificante para los casos en que la cantidad de agua adoptada sea insuficiente para cubrir la demanda de agua, en especial en las mezclas con mayor porcentaje de finos.

Con el objetivo de evaluar la influencia de la humedad se han moldeado probetas y se realizaron los ensayos con probetas húmedas, es decir 3 horas después de haber salido de la pileta de curado y secas al aire hasta peso constante, es decir con la humedad que tendría una estructura real. La humedad de las probetas secas al aire estuvo entre de 3 a 4%.

Para evaluar la influencia de las barras en ambos ensayos de acero se han fabricado probetas en las cuales se han introducido barras de acero de todos los diámetros comerciales y con todos los recubrimientos mas usados en nuestro medio.

Para cada mezcla fueron moldeados 6 probetas con las medidas mas arribas citas, a cada mezcla le fue asignada el promedio de los tres valores siguientes; el índice esclerométrico, la velocidad de propagación de onda ultrasónica y de la resistencia a compresión simple.

3. Adopción del tipo y tamaño del molde para las probetas

Para el moldeo de probetas en nuestra investigación, fueron utilizados moldes cúbicos respaldados por la Norma UNE 83-301-91. Los motivos de la forma cúbica adoptada para la adopción de los moldes fueron los siguientes:

- Según la Norma UNE 83-307-86 "Determinación del índice de rebote", la dimensión mínima a ensayar es de 10 cm.
- Según la Norma UNE 83-308-86 "Método para la determinación de pulsos ultrasónicos", la dimensión mínima a ensayar es de 15 cm.
- El esclerómetro es calibrado de fabrica con probetas cúbicas por lo cual es mejor utilizar estas probetas para no introducir una variable mas en el estudio, y
- Además para los ensayos de esclerometria y ultrasonido es

necesario que la superficie a ensayar sea perfectamente plana.

Los cubos adoptados poseen arista $a = 15$ cm, debido a que en la Norma UNE 83-301-91 se condiciona que esta medida sea igual a 3 veces el tamaño máximo del agregado grueso, que para nuestro caso es de 38 mm.

4. Codificación y matriz de hormigones

Dentro del esquema general del experimento se puede observar que cada mezcla ha sido codificada teniendo en cuenta lo siguiente: La letra R antepuesta a cada código numérico, viene de la palabra "Resistencia" que será alcanzada por la mezcla. El primer número corresponde al tamaño máximo del agregado grueso que puede ser 3, 4 ó 5 dependiendo si el hormigón se elaboró con piedra triturada 3ra, 4ta. ó 5ta. El segundo número puede ser 1, 2, 3, 4, dependiendo si la relación agua / Cemento es 0.45, 0.50, 0.55, ó 0.60. Y por último el tercer numero que puede ser 1, 2 ó 3, dependiendo si la relación grueso / fino es de 65%/35%, 60%/40% y 55%/45%.

Observando el esquema de la **figura 1**, se puede ver fácilmente que el conjunto de códigos numéricos, forma una matriz de valores, donde se pueden hacer comparaciones entre filas y columnas y que por ejemplo comparando la primera columna, encontramos los siguientes hormigones: R311, R411 y R511 que poseen la misma relación agua/cemento (Es decir misma resistencia característica, para el método del A.C.I.), la misma relación grueso/fino, pero fueron fabricados con Tamaños Máximos del Agregado Grueso diferente, es decir si comparamos entre si los resultados de los ensayos de esclerometria y ultrasonido, podremos ver cual es la influencia que el parámetro Tamaño máximo del Agregado ejerce sobre los resultados de los ensayos.

Siguiendo un razonamiento análogo, si hacemos comparaciones entre filas, se tiene en la primera fila y en el conjunto correspondiente a la relación agua/cemento 0.45, los hormigones: R311, R312 y R313, que poseen la misma relación agua/cemento, pero se diferencian en la relación grueso/fino, por tanto podemos evaluar la influencia de este parámetro en los resultados de los ensayos de esclerometria y ultrasonido. De esta forma se pueden hacer un numero grande de

comparaciones entre conjunto de valores que poseen ciertos parámetros iguales y solo se diferencian en uno.

5. Presentación y análisis de resultados obtenidos

5.1 Influencia del Tamaño Máximo del Agregado en el ensayo de esclerometría

Para evaluar la influencia del Tamaño Máximo del Agregado Grueso, se han comparado los hormigones según el esquema mencionado anteriormente, en las **tablas 1 y 2** se pueden observar los valores obtenidos para el ensayo de esclerometría y ultrasonido respectivamente, para hormigones con las 4 relaciones Agua/Cemento utilizadas (0.45, 0.50, 0.55, 0.60), una sola relación Grueso/Fino (65/35%) y los 3 tamaños máximos utilizados (3ra., 4ta., 5ta.).

Se pudo observar en todos los casos mostrados en la **tabla 1**, y en los demás investigados, que el parámetro investigado, posee una influencia en los resultados del ensayo de esclerometría, y que esta influencia se encuentra dentro de un rango, para hormigones fabricados con TM correspondiente a la 3ra. y 4ta. El hormigón con TM 3ra. proporciona índices de rebotes mayores entre un 2% y 7% al fabricado con 4ta.

Y que para hormigones fabricados con TM correspondiente a la 4ta. y 5ta. El hormigón con 4ta. proporciona índices de rebotes mayores entre un 1% y 2% al fabricado con 5ta.

5.2 Influencia del Tamaño Máximo del Agregado en el ensayo de ultrasonido

Siguiendo un sistema comparativo idéntico al anterior pero para el ensayo de ultrasonido, se pudo observar en todos los casos mostrados en la **tabla 2**, y en los demás investigados, que el parámetro investigado, posee una influencia en los resultados de los ensayo de ultrasonido.

Para hormigones iguales desde el punto de vista de la resistencia característica, fabricados con TM correspondientes a la triturada 3ra. y 4ta. el hormigón fabricado con TM 3ra. proporciona velocidades de pulso ultrasónico mayores en 1% a 1.5 % al fabricado con 4ta.

Y que, para hormigones iguales fabricados con TM correspondientes a la 4ta. y 5ta., el hormigón con TM 4ta. proporciona velocidades de pulso ultrasónico mayores entre un 1% a 5 % al fabricado con 5ta.

5.3 Influencia de la relación entre el agregado grueso y el agregado fino en el ensayo de esclerometría

Para hormigones iguales desde el punto de vista de la resistencia característica, fabricados con relaciones Grueso/Fino de 55/45% 60/40% y 65/35%, el índice de rebote se incrementa en un 0.5 % a medida que aumenta el porcentaje de agregado grueso.

5.4 Influencia de la relación entre el agregado grueso y el agregado fino en el ensayo de ultrasonido

Debido a la gran dispersión observada en los resultados, no se pudo establecer ninguna conclusión sobre la influencia que el parámetro relación Grueso/Fino posee en los resultados del ensayo de ultrasonido.

5.5 Influencia de la humedad en ambos ensayos

Con el objetivo de evaluar la influencia de la humedad se han moldeado un número de doce probetas y se realizaron los ensayos con seis probetas húmedas, es decir 3 horas después de haber salido de la piletta de curado y seis probetas secas al aire hasta peso constante, es decir con la humedad que tendría una estructura real. La humedad de las probetas secas al aire estuvo entre de 3 a 4%.

Los resultados obtenidos para los diferentes tamaños máximos no fueron iguales, por lo cual se presentan los resultados por separado para cada tamaño máximo de agregado grueso y para cada ensayo.

5.5.1 Ensayo de esclerometría

En los ensayos hechos en probetas húmedas y secas al aire hasta peso constante, para los tres tamaños máximos estudiados, se observó que:

Para hormigones fabricados con 3ra., el índice de rebote del hormigón húmedo se incrementa en un 0.5 % con respecto al seco.

Para hormigones fabricados con 4ta., el índice de rebote del hormigón húmedo se incrementa en un 0.6 % con respecto al seco.

Para hormigones fabricados con 5ta., el índice de rebote del hormigón húmedo se incrementa en un 1.7 % con respecto al seco.

5.5.2 Ensayo de ultrasonido

En los ensayos hechos en probetas húmedas y secas al aire hasta peso constante, para los tres tamaños máximos estudiados, se observó que los resultados obtenidos en relación a la velocidad de ultrasonidos fue como sigue:

Fueron sensiblemente iguales, para el Tamaño Máximo correspondiente a la triturada tercera (3ra.)

Se incrementaron en un 3% en probetas húmedas para el TM correspondiente a la triturada cuarta (4ta.)

Se incrementaron en un 8% en probetas húmedas para el TM correspondiente a la triturada quinta (5ta.)

5.6 Influencia de la presencia de las barras de acero

5.6.1 Ensayo de esclerometría

La realización del ensayo de esclerometría en una zona con presencia de barras de acero posee influencia en los resultados y puede provocar errores de lectura del índice de rebote de hasta un 10% dependiendo del diámetro y del recubrimiento. Para un mismo recubrimiento la influencia de las barras de acero en el ensayo de esclerometría, va aumentando conforme aumenta el diámetro de la barra de acero. Además sin importar el diámetro la influencia de las barras de acero va disminuyendo con el

recubrimiento, y se hace casi nula con 3 cm. de recubrimiento.

5.6.2 Ensayo de ultra sonido

Se han realizado mediciones en la dirección paralela y perpendicular a las barras de acero colocadas en el interior de las probetas.

Se pudo observar que a medida que aumenta el diámetro de la barra de acero, la velocidad se ve incrementada, esto es debido a que la onda encuentra un medio más denso como el acero para viajar, por donde viajar a mayor velocidad.

Además se realizaron mediciones en las direcciones paralelas y perpendiculares a las barras de acero. En la **tabla 3** se puede observar la comparación de velocidades de pulso ultrasónico entre lecturas paralelas y perpendiculares a las barras de acero para diferentes diámetros.

6 Conclusiones

En la presente investigación, se pudo comprobar que algunos de los parámetros estudiados, poseen cierta influencia sobre los resultados de Ensayos No Destructivos de Esclerometría y Ultrasonido, pero es importante resaltar la magnitud de los mismos, ya que estos son muy pequeños, pero no por ello sin importancia, ya dependiendo de la aplicación que se le desea dar a los resultados de los ensayos, estos podrían implicar la aplicación de algún coeficiente de corrección, relacionado a algunos de los parámetros estudiados y en vista de que por lo general se utilizan estos ensayos para estimar la resistencia del hormigón, se podrá alcanzar un mayor nivel de confianza en los resultados de las estimaciones, obtenidas por estos métodos.-

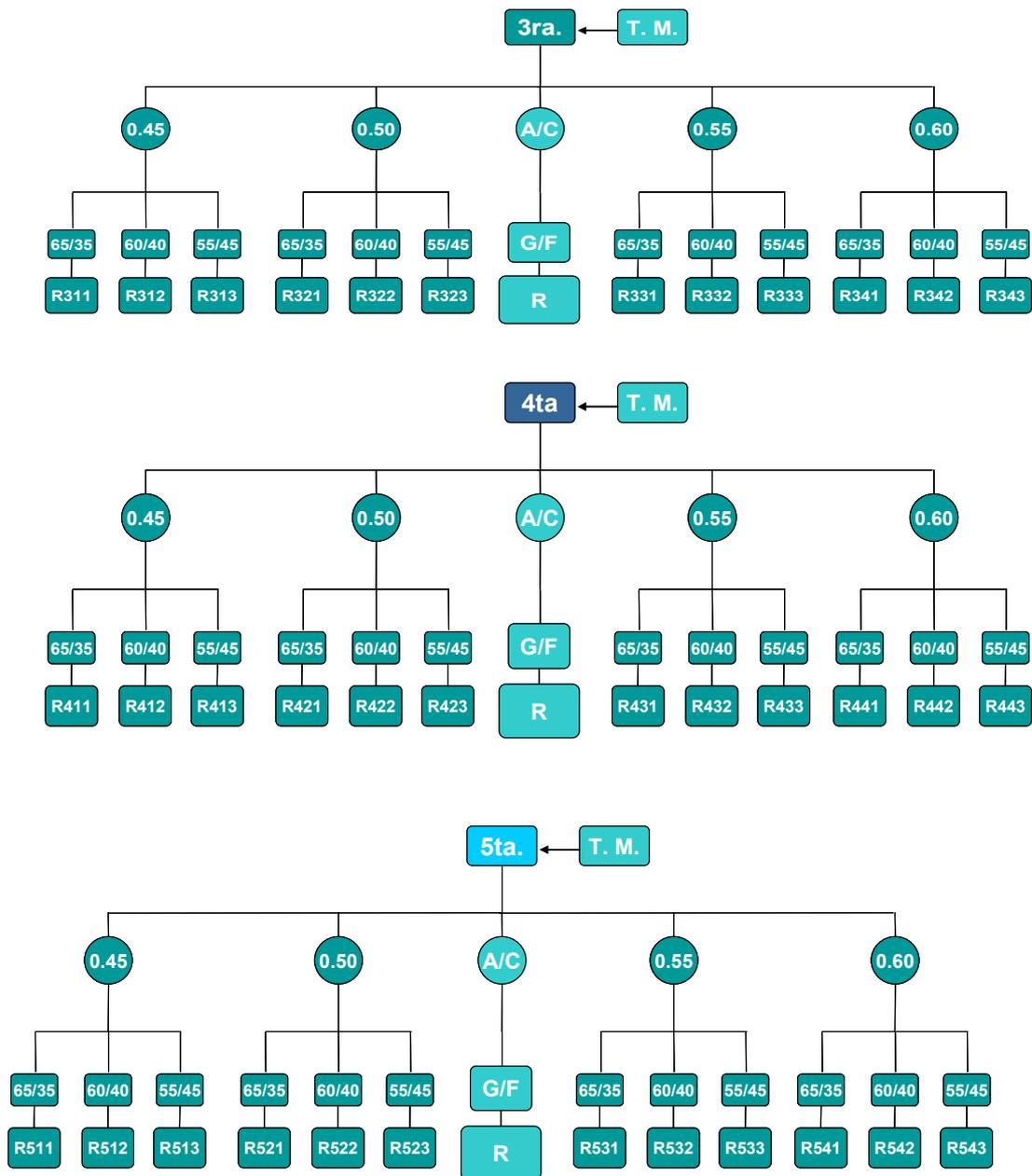


Figura 1: Esquema general de la investigación

Código de la mezcla	Fcm(kg/cm ²)	Tamaño máximo	Relación A/C	Relación Grueso/Fino	Promedio
311	388	3ra.	0,45	65/35	41,77
411	370	4ta.	0,45	65/35	38,81
511	400	5ta.	0,45	65/35	38,05
321	341	3ra.	0,50	65/35	38,65
421	340	4ta.	0,50	65/35	37,99
521	352	5ta.	0,50	65/35	37,44
331	308	3ra.	0,55	65/35	39,34
431	307	4ta.	0,55	65/35	37,14
531	320	5ta.	0,55	65/35	36,95
341	276	3ra.	0,60	65/35	36,06
441	265	4ta.	0,60	65/35	35,86
541	274	5ta.	0,60	65/35	35,50

Tabla 1: Valores promedio de rotura a compresión simple e índice esclerométrico.

Código de la mezcla	Fcm(kg/cm ²)	Tamaño máximo	Relación A/C	Relación Grueso/Fino	Promedio Velocidad m/s
311	388	3ra.	0,45	65/35	5074
411	370	4ta.	0,45	65/35	4917
511	400	5ta.	0,45	65/35	4773
321	341	3ra.	0,50	65/35	5063
421	340	4ta.	0,50	65/35	5047
521	352	5ta.	0,50	65/35	4789
331	308	3ra.	0,55	65/35	5074
431	307	4ta.	0,55	65/35	5046
531	320	5ta.	0,55	65/35	4801
341	276	3ra.	0,60	65/35	5046
441	265	4ta.	0,60	65/35	5022
541	274	5ta.	0,60	65/35	4825

Tabla 2: Valores promedio de rotura a compresión simple y velocidad de pulso ultrasónico

Diámetro barras de acero (mm)	Punto de Lectura	Dirección respecto a Barra	Tiempo en us	Velocidad (m/s)
6	Barra de acero	Paralela	30,51	4.916
6	Barra de acero	Perpendicular	31,93	4.699
8	Barra de acero	Paralela	30,69	4.888
8	Barra de acero	Perpendicular	32,45	4.622
10	Barra de acero	Paralela	30,26	4.957
10	Barra de acero	Perpendicular	31,35	4.785
12	Barra de acero	Paralela	30,53	4.914
12	Barra de acero	Perpendicular	32,38	4.633
16	Barra de acero	Paralela	29,64	5.061
16	Barra de acero	Perpendicular	32,20	4.658

Tabla 3: Comparación de velocidades de pulso ultrasónico entre lecturas paralelas y perpendiculares a las barras de acero para diferentes diámetros

7. Bibliografía

(1) Jaime Fernández Gómez, et ali, “ Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón” – INTEMAC – 2001.

(2) Malhotra, V. M., 1984, “ In Situ / Nondestructive Testing of Concrete - A Global Review”, In Situ/Nondestructive Testing of Concrete, Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit, pp. 1-16.

(3) Metha, P.K., e Monteiro, P.J.M., 1994, Concreto : estrutura, propriedades e materiais, Ed. Pini, Brasil.

(4) Neville, A.M, 1997, Propriedades do concreto , 2ª edição, Ed. Pini, Brasil.

(5) BUNGEY, J.H.; "The testing of concrete in structures". Surrey University Press. Second Edition. London (1982)

(6) Norma UNE 83307:1986; "Ensayos de hormigón. Determinación del índice de rebote".

(7) Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

(8) Norma ASTM C 805-97; "Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete"

(9) RILEM; "Recommendations for testing concrete by hardness methods". TC43-CND (1984).

(10) UNE 83308:1986; "Ensayos de hormigón. Determinación de la velocidad

de propagación de los impulsos ultrasónicos" (4986).

(10) P. Jimenez Montoya, et ali, “Hormigón Armado” – Editorial Gustavo Gill- 2000