

# “EMPLEO DE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS PARA ESTIMAR EL GRADO DE ENDURECIMIENTO DE HORMIGONES PARA PAVIMENTOS”

**Becaria: Irvin Quispe Sallo**<sup>(1)</sup>  
Directora: Ing. Marcelo Barreda <sup>(2)</sup>

---

## 1. Resumen

El propósito del presente trabajo fue establecer la correlación entre parámetros obtenidos aplicando ensayos no destructivos y la resistencia de un hormigón adecuado para su utilización en pavimentos. En particular, los valores obtenidos sirven para determinar el momento oportuno para efectuar el aserrado de juntas de contracción.

## 2. Abstract

The purpose of this study was to establish the correlation between parameters obtained using non-destructive testing of concrete resistance suitable for use in pavements. In particular, the values used to determine the appropriate time to perform the sawing of contraction joints.

## 3. Fundamentos

Los ensayos no destructivos (END) se pueden usar para evaluar la resistencia y otras propiedades del hormigón endurecido. En general, los procedimientos se basan en mediciones de respuestas del hormigón ante diferentes acciones, de cuyos resultados, mediante calibraciones adecuadas, pueden deducirse los valores de las propiedades a investigar.

El concepto de madurez es una técnica útil para estimar la ganancia de resistencia del hormigón a edades tempranas, generalmente menores de 14 días. El método considera los efectos combinados de la temperatura y el tiempo sobre el desarrollo de resistencia del hormigón. El aumento de la temperatura de curado puede acelerar el proceso de hidratación que aumentara el desarrollo de la resistencia. La madurez es una función del producto del tiempo de curado y la temperatura interna en el hormigón. Entonces se supone que una mezcla dada a plazos iguales tendrá la misma resistencia, independientemente del curado y de las historias de temperatura y tiempo.

La velocidad del pulso ultrasónico depende de las propiedades del hormigón que determinan su rigidez elástica y su resistencia mecánica. Las diferencias en la velocidad de los pulsos ultrasónicos en las distintas zonas de una estructura, reflejan las correspondientes variaciones de la calidad del hormigón.

Pueden obtenerse relaciones empíricas entre la velocidad de pulso ultrasónicos y la resistencia a compresión del hormigón. Teniendo en cuenta la serie de factores que influyen en la velocidad del pulso ultrasónico, se deberán tomar precauciones adecuadas cuando se desee expresar los resultados de la velocidad de pulsos ultrasónicos en términos de resistencia a la compresión.

El número de rebote determinado con el esclerómetro puede ser utilizado para evaluar la uniformidad de la calidad superficial del hormigón, para delimitar zonas de calidad inferior o de hormigón deteriorado en estructuras, para estimar la resistencia a compresión del hormigón y para indicar cambios con el tiempo en las características del hormigón, tales como las originadas por la hidratación del cemento, de modo que provee una información útil para determinar cuándo pueden retirarse los encofrados y los puntales.

(1) Becaria de investigación del Centro LEMaC Depto de Ingeniería Civil

(2) Directora de Beca. Directora del proyecto asociado

#### 4. Desarrollo experimental y análisis de resultados

Se diseñó una mezcla de hormigón apta para pavimentos, tratando de respetar las exigencias establecidas en el Pliego de Especificaciones Técnicas de la Dirección Nacional de Vialidad, con los materiales empleados habitualmente en el Partido de La Plata (Tabla 1).

Dosificación de Hormigón para Pavimento	
Materiales	P [kg/m <sup>3</sup> ]
Agua	160
Cemento CPC 40	360
Piedra Partida Granítica 10:30	425
Piedra Partida Granítica 6:20	638
Arena silícea	204
Arena de trituración granítica 0:6	611
Aditivo plastificante	0,8
a/c	0,44

**Tabla 1 – Dosificación tipo para el Partido de La Plata**

Como aglomerante se usó un cemento portland compuesto con adición de “filler” calcáreo y escoria, con una resistencia de 40 MPa (CPC 40).

Como agregado grueso se empleó piedra partida granítica en dos tamaños (10:30 y 6:20) combinados (40/60 % respectivamente) y como agregado fino, arena silícea natural (módulo de finura = 1,15) y arena granítica de trituración (0:6) (módulo de finura = 3,36) combinadas (25/75 % respectivamente). (Tabla 2)

Muestras Tamices	Granulometrías de los agregados utilizados y sus combinaciones (% Pasa)						
	Grueso 10:30 Granítico	Grueso 6:20 Granítico	40% (10:30) 60% (6:20)	Fino 0:6 Granítico	Fino Silíceo	75% (0:6) 25% (silíceo)	Curva Total
2”	100	100	100				100
11/2 “	100	100	100				100
1”	95	100	98				99
3/4”	30	93	68				82
1/2”	3	43	27				58
3/8”	2	21	13	100	100	100	50
4	2	2	2	94	100	95	42
8	2	1	1	66	100	75	33
16				46	100	59	25
30				28	96	45	19
50				21	78	35	15
100				9	11	10	4

**Tabla 2- Granulometría de los agregados y sus combinaciones**

El aditivo usado fue un plastificante, recomendado para el uso en hormigones de pavimentos, con el fin de reducir agua de mezclado manteniendo el asentamiento deseado.

Con el fin de poder estimar el momento oportuno para efectuar el aserrado de las juntas en pavimentos confeccionados con el hormigón considerado, se determinó la correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico y la correlación entre la resistencia y la madurez del hormigón.

No se determinó la correlación entre la resistencia y el número de rebote empleando el esclerómetro debido que a edades tempranas el hormigón no adquiere suficiente resistencia como para proporcionar una lectura relevante.

El medidor de madurez utilizado permitió el cálculo simultáneo de dos valores de madurez diferentes, empleando las expresiones de Nurse-Saúl y de Arrhenius. En el primer caso, se calcula el factor temperatura-tiempo de la forma siguiente:

$$M(t) = \sum (T_a - T_0) \Delta t$$

Donde:

M (t) = factor temperatura-tiempo a la edad t (grados centígrados. horas)

$\Delta t$  = intervalo de tiempo (horas)

$T_a$  = temperatura promedio del hormigón durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$  (grados centígrados)

$T_0$  = temperatura de referencia (grados centígrados)

En el segundo caso, la función empleada permite adquirir la edad equivalente como sigue:

$$t_e = \sum e^{-Q \left( \frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s} \right) \Delta t}$$

Donde:

$t_e$  = edad equivalente a la temperatura de referencia  $T_s$  (horas)

Q = energía de activación dividida por la constante universal de los gases (kelvin)

$T_a$  = temperatura promedio del hormigón durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$  (kelvin)

$T_s$  = temperatura de referencia (kelvin)

$\Delta t$  = intervalo de tiempo (kelvin)

El Gráfico 1 muestra los valores de resistencia a compresión - velocidad ultrasónica, obtenidos a las mismas edades. La velocidad ultrasónica fue determinada sobre una probeta prismática aplicando el método de medición indirecta o superficial, colocando los transductores en la misma cara. Esta forma de realizar las mediciones fue utilizada debido a que en los pavimentos generalmente se tiene acceso a una sola cara del hormigón. Se obtuvo una curva de correlación que responde a la ecuación (1):

$$y = 1,7339e^{0,0008x} \quad (1)$$

donde:

y = resistencia a compresión (MPa)

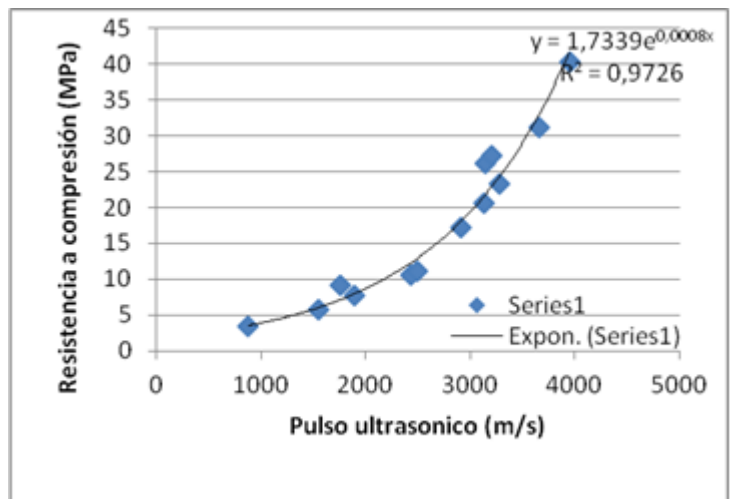
x = velocidad ultrasónica (m/s)

En los Gráficos 2 y 3 se observan las curvas de correlación resistencia a compresión – factor temperatura -tiempo, obtenidas mediante el empleo de dos de los cuatro canales disponibles en el equipo de medición empleado. Las ecuaciones obtenidas son las siguientes:

donde:

$$y = 8,5984 \ln x - 45,992 \quad (2)$$

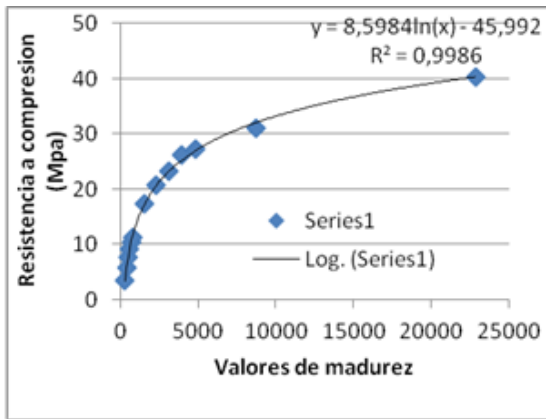
$$y = 8,5803 \ln x - 45,625 \quad (3)$$



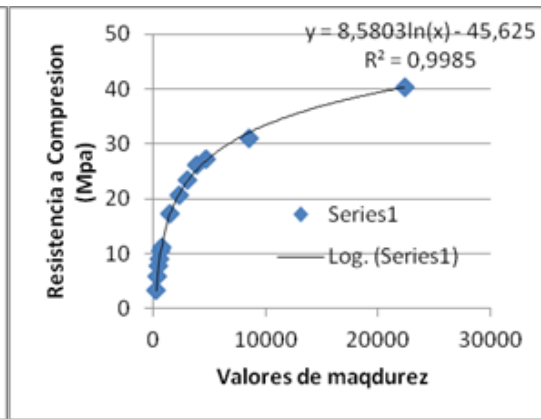
**Gráfico 1**

y = resistencia a compresión (MPa)

x = factor temperatura-tiempo (°C. horas)



**Gráfico 2**



**Gráfico 3**

En los Gráficos 4 y 5 se observan las curvas de correlación resistencia a compresión – edad equivalente, obtenidas mediante el empleo de dos de los cuatro canales disponibles en el equipo de medición empleado. Las ecuaciones obtenidas son las siguientes:

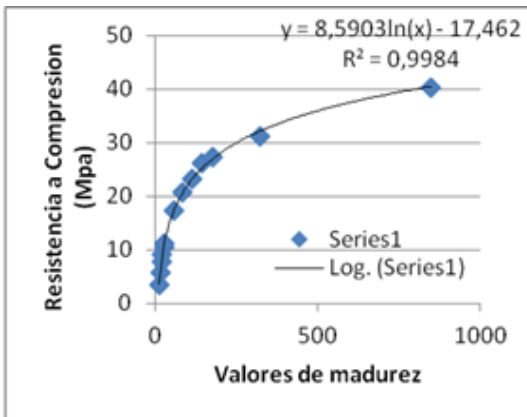
$$y = 8,5903 \ln x - 17,462 \quad (4)$$

$$y = 8,5445 \ln x - 16,829 \quad (5)$$

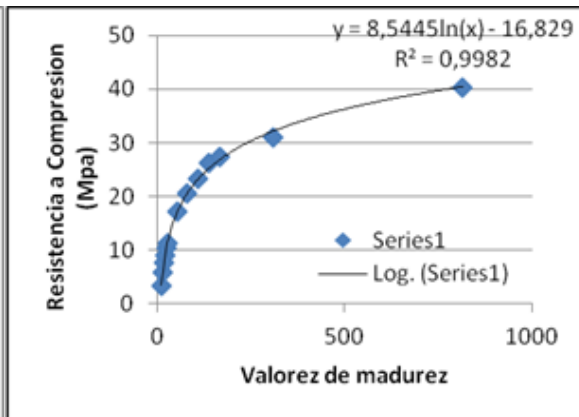
donde:

y = resistencia a compresión (MPa)

x = edad equivalente (horas)



**Gráfico 4**



**Gráfico 5**

La Tabla 3 proporciona valores de la resistencia a compresión necesaria para comenzar el aserrado de juntas, considerando las características del agregado grueso y el contenido de cemento del hormigón empleado en la ejecución del pavimento.

**Tabla 3. Resistencia a la compresión cilíndrica necesaria para comenzar el aserrado usando equipo convencional (2)**

Forma del agregado grueso	Dureza del agregado grueso	Contenido de cemento kg/m <sup>3</sup>	Corte aceptable (algún desmoronamiento en los bordes) MPa	Corte excelente (casi sin desmoronamiento en los bordes) MPa
Triturado	Blando	300	2.5	3.9
		385	2.2	3.7
		475	1.9	3.4
Triturado	Duro	300	4.9	7.0
		385	4.8	6.8
		475	4.7	6.6
Redondeado	Blando	300	1.4	2.5
		385	1.0	2.1
		475	1.0	1.8
Redondeado	Duro	300	3.3	4.9
		385	3.1	4.8
		475	2.9	4.6

Considerando en la Tabla 3 la fila correspondiente al hormigón cuyas características más se aproximan al hormigón en estudio, se obtendría un corte aceptable para una resistencia a compresión del hormigón de 4,8 MPa y un corte excelente para una resistencia de 6,8 MPa. Aplicando la ecuación (1), estos valores de resistencia corresponden a valores de la velocidad ultrasónica de 1272,8 y 1708,2 m/s, respectivamente.

Aplicando la ecuación (2), los valores de resistencia considerados corresponden a valores del factor temperatura-tiempo de 367,7 y 463,9 grados centígrados. horas, respectivamente.

Aplicando la ecuación (4), los valores de resistencia contemplados corresponden a valores de la edad equivalente de 13,4 y 16,8 horas, respectivamente.

Es decir que el aserrado puede realizarse sin inconvenientes cuando los valores determinados sobre el pavimento en construcción, obtenidos a través de los métodos de ultrasonido o madurez, coincidan con los obtenidos en laboratorio mediante la aplicación de las ecuaciones precedentes.

## **5. Conclusiones**

Los resultados obtenidos conducen a las siguientes conclusiones:

Los métodos utilizados son confiables en este tipo de hormigones y tienen buena reproducibilidad de resultados en las condiciones ensayadas.

Se pueden establecer anticipadamente parámetros obtenidos mediante la aplicación de técnicas no destructivas, para determinar el momento oportuno para efectuar el aserrado de juntas en pavimentos urbanos.

Se debería realizar un ajuste final con las temperaturas imperantes durante la época del año en que se construye el pavimento.

## **6. Bibliografía**

1. Guide to Nondestructive Testing of Concrete. FHWA-SA-97-105. 1977
2. ACI 325.11R-01, American Concrete Institute. Accelerated Techniques for Concrete Paving, 2001.
3. Early Cracking of Concrete Pavements – Causes and Repairs, TB016.01P, American Concrete Pavement Association, Skokie, Illinois, 2002.
4. Pliego de Especificaciones Técnicas Generales, Dirección Nacional de Vialidad, 1998.
5. ASTM C 1074, Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method, 1998.
6. IRAM 1683, Hormigón de Cemento Portland, Método para Determinar la Velocidad de Pulsos Ultrasónicos, 1990.
7. IRAM 1694, Método de ensayo de la dureza superficial del hormigón endurecido mediante la determinación del número de rebote empleando el esclerómetro de resorte, 1989.