



Medida de la madurez del hormigón en una estructura

J. D. Sota¹, F. A. Avid¹, P. Moreira¹, M. Chury¹

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concordia, Argentina.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v6i3.149>

Artículo recibido el 30 de Mayo, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 16 de Agosto de 2016. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2017 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2017.

© 2016 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 6, No. 3, Septiembre – Diciembre 2016, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat_int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org.
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: 30 de septiembre de 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

RESUMEN

En este trabajo realizamos la determinación del grado de madurez del hormigón in situ en una estructura. Para ello, se miden las temperaturas en las bases de hormigón de una estructura, desde las primeras horas de la hidratación, hasta los 28 días, con un equipo desarrollado en la Facultad. Simultáneamente se realizan ensayos de resistencia a la compresión estableciendo la relación con las temperaturas, con las expresiones de Nurse-Saul y Arrhenius. Los resultados permitieron determinar la curva de madurez del hormigón estudiado y establecer el grado de madurez en cada una de las partes diferenciadas de la estructura.

El uso de esta metodología permite controlar la totalidad del hormigón recibido, su homogeneidad y monitorear su resistencia en tiempo real.

Palabras claves: madurez; hormigón; temperatura; resistencia.

ABSTRACT

In this paper we determine the degree of maturity in situ concrete structure. To do this, temperatures are measured in the concrete foundations of a structure, from the first hours of hydration, to 28 days, with a device developed at the Faculty. Simultaneously testing compressive strength are performed establishing the relationship with temperature, with expressions Nurse-Saul and Arrhenius. The results allowed to determine the maturity curve of the studied concrete and establish the degree of maturity in each of the different parts of the structure.

The use of this methodology allows to control the entire concrete received, its homogeneity and to monitor resistance in real time.

Keywords: maturity; concrete; temperature; resistance.

RESUMO

Neste trabalho, determinar o grau de maturidade na estrutura de concreto situ. Para fazer isso, as temperaturas são medidas nas fundações de betão de uma estrutura, desde as primeiras horas de hidratação, a 28 dias, com um dispositivo desenvolvido na Faculdade. Simultaneamente testar resistência a compressão são realizados estabelecer a relação com a temperatura, com expressões Nurse-Saul e Arrhenius. Os resultados obtidos permitem determinar a curva do betão estudada maturidade e estabelecer o grau de maturação em cada uma das diferentes partes da estrutura.

A utilização desta metodologia permite controlar todo o betão recebido, a sua homogeneidade e monitorar a resistência em tempo real.

Palavras-chave: maturidade; betão; temperatura; resistência.

Autor de contacto: Jorge Daniel Sota (jdsota@gmail.com)

1. INTRODUCCIÓN

El método de madurez proporciona un medio simple y útil de estimar la ganancia de resistencia del hormigón a edades tempranas (generalmente menores de 14 días).

Se debe mencionar que es necesario tener la curva de madurez de la dosificación a utilizar, por cuanto la curva es propia del conjunto de materiales utilizados.

Este método reconoce el efecto combinado del tiempo y la temperatura, proporcionando una base para estimar el desarrollo de resistencia del hormigón “in situ” mediante el control de la temperatura y el tiempo (Peter C. Taylor, Steven H. Kosmatka, Gerald F. Voigt, et al, 2007).

Los efectos del tiempo y la temperatura en el aumento de la resistencia del hormigón se cuantifican mediante una función de madurez, que es indicativa del nivel de resistencia desarrollado por el hormigón. Las dos funciones de madurez utilizadas para este propósito son la de Nurse-Saul y la de Arrhenius (ACI 325.11R-01, 2001).

La función de Nurse-Saul, desarrollada en la década del ‘50 y la más ampliamente aceptada para medir la madurez, es el producto acumulado de tiempo y temperatura, ecuación 1.

$$M(t) = \sum(T_a - T_0) \Delta t \quad (1)$$

donde:

M (t) = madurez (factor temperatura-tiempo) a la edad t, en °C.días o °C.horas,

Δt = intervalo de tiempo, en días u horas,

T_a = temperatura promedio del hormigón durante el intervalo Δt , en °C, y

T_0 = temperatura de referencia, en °C.

La temperatura de referencia es la temperatura en que cesa la ganancia de resistencia del hormigón; por lo tanto, los períodos durante los cuales las temperaturas están en o por debajo de esta temperatura de referencia, no contribuyen al aumento de la resistencia. Generalmente, se utiliza un valor de -10 °C para la temperatura de referencia en la ecuación de Nurse-Saul (ACI 325.11R-01, 2001).

La madurez también puede ser determinada mediante el método de Arrhenius, que considera la no linealidad en la tasa de hidratación del cemento. El método de Arrhenius produce un índice de madurez en términos de una "edad equivalente", que representa el tiempo de curado equivalente, a una temperatura de referencia, generalmente 20°C, requerida para producir una madurez igual a la alcanzada durante un periodo de curado a temperaturas diferentes a la temperatura de referencia, ecuación 2.

$$t_e = \sum e^{-Q \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s} \right)} \Delta t \quad (2)$$

donde:

t_e = edad equivalente a una temperatura de referencia T_s , en días u horas,

Q = energía de activación dividida por la constante general de los gases, en K,

T_a = temperatura promedio del hormigón durante el intervalo Δt , en K,

T_s = temperatura de referencia, en K y

Δt = intervalo de tiempo, en días u horas.

La ecuación de Arrhenius es una mejor representación de la función temperatura-tiempo que la ecuación de Nurse-Saul, cuando se espera una amplia variación en la temperatura del hormigón. Además, el enfoque de Nurse-Saul es limitado en función de asumir que la tasa de ganancia de resistencia es una función lineal. Sin embargo, la fórmula de Nurse-Saul es más ampliamente utilizada, principalmente debido a su simplicidad. Ambas funciones de madurez se consideran en la Norma ASTM C 1074 (Barreda M. F., Naber M. J., Quispe Sallo I., Sota J. D., 2003).

Debido a que la madurez es dependiente sólo de la historia del tiempo y la temperatura del hormigón, los requisitos más básicos de equipo para determinar la madurez son un termómetro y un reloj. Sin embargo, con los años, se han desarrollado varios dispositivos de madurez que monitorean y registran automáticamente las temperaturas del hormigón en función del tiempo. Estos dispositivos se conectan a termocuplas embebidas en el hormigón y pueden computar la madurez por la ecuación de Nurse-Saul y la ecuación de Arrhenius, a intervalos definidos (ASTM C 1074, 1998).

En el caso del presente trabajo se ha desarrollado un prototipo de equipo de medición conjuntamente con un software, con el fin de realizar las experiencias (Sota J. D., Avid F.A., Chury M., Moreira P., 2014).

2. METODOLOGÍA

Se desarrolló un equipamiento de medición y se complementó con el software que permitió manejar los datos obtenidos. El diseño del sistema incluye una serie de sensores de temperatura conectados a una minicomputadora (Figura 1), registrando además la temperatura sobre la superficie del hormigón. (Figura 2). La misma lee de los sensores (Figura 3), las temperaturas a intervalos prefijados y los registra. Un programa realiza una lectura permanente de la información generada que luego almacena en una base de datos, permitiendo su procesamiento empleando las expresiones de Nurse-Saul para cálculo de madurez y/o de Arrhenius.



Figura 1. Microcomputadora (Raspberry Pi B+)



Figura 2. Termómetros digitales



Figura 3. Sensores

Se estudiaron los hormigones de bases de una estructura de ampliación de los laboratorios de la Facultad, monitoreando el desarrollo de la resistencia con la medida de la madurez de los hormigones, con sensores colocados en las mismas. Figura 4. Las bases para colocar los sensores se eligieron en función de su ubicación en la estructura y de las etapas de colocación del hormigón durante el día. Lo que permitió tener valores registrados en hormigones colocados durante la mañana (Base 7) al promediar la hormigonada (Base 3) y al final de la misma (Base 10)



Figura 4. Colocación de sensores

La dosificación se compuso de un cemento portland CPC-40, cemento portland compuesto (hasta tres adiciones) resistencia de mortero de 40 MPa (Norma IRAM 50000); arena silícea gruesa de una cantera de la zona; canto rodado silíceo tamaños 1:3 y 1:2 y un aditivo superfluidificante. Las características de los agregados se informan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los agregados

Material	Módulo de finura	Tamaño Máximo	P.U. de Volumen
Arena silícea gruesa	2,69	--	1, 5
Canto Rodado 1:3	7,26	1''	1, 7
Canto Rodado 1:2	6,70	3/4''	1, 6

Las proporciones de los materiales integrantes de la dosificación se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Dosificación del hormigón utilizado en las experiencias

Material	P.e (g/cm ³)	Volumen (litros)	Peso (kg)
Agua	1,00	158	158
Cemento	3,11	101	315
Arena silícea gruesa	2,62	309	811
Canto Rodado 1:2	2,66	167	444
Canto Rodado 1:3	2,67	249	666
Aditivo	2,5 kg. / m ³		
Aire (%)	2		
Asentamiento (cm)	10		
Resistencia promedio a los 28 días	25 MPa		

Se confeccionaron probetas cilíndricas de 15x30 para determinar la resistencia a las diferentes edades estudiadas, simultáneamente con la colocación del hormigón. Por lo que las resistencias de las probetas se correspondían con el hormigón colocado en la base en donde se colocaban los sensores.

Las mediciones de temperatura se efectuaron sobre las bases 3, 7 y 10 de la estructura.

Los ensayos de resistencia se realizaron con una Prensa Automática Digital PILOT 4 (Controls de Italia) de 200 tn de capacidad; con visualización gráfica en tiempo real de los datos del ensayo, la curva de carga/tiempo y la velocidad de carga real así como visualización simultánea de la carga, tensión y velocidad de carga real en función de las cargas o de las tensiones.

Las probetas ensayadas se mantuvieron en el ambiente de las bases en las que se realizaban las mediciones durante la experiencia, en las mismas condiciones de humedad y temperatura (25,5-27,5 °C y 75 % de HR).

3. RESULTADOS

Obtenidos los datos de resistencia en los ensayos de compresión de las probetas y los de temperatura con el equipo diseñado para estas experiencias (colocado en las bases 3, 7 y 10), se procedió a correlacionar estos a los tiempos parciales utilizados. (Datos del madurómetro y resistencia a la misma edad).

Se utilizó la formula de Nurse-Saul - Madurez (°C.h) para las variables, tiempo, temperatura y resistencia. La Figura 5 muestra la relación tiempo vs. madurez para la base 10 (como ejemplo) y las Figuras 6,7 y 8 la relación resistencia vs. madurez para las bases 3, 7 y 10.

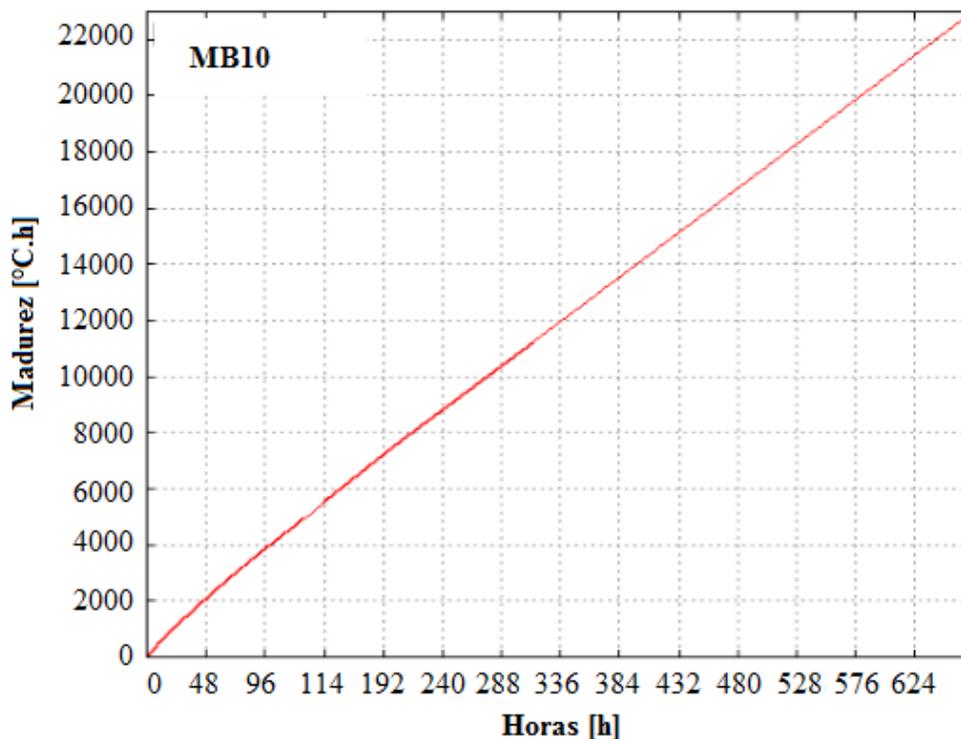


Figura 5. Tiempo vs madurez Base 10

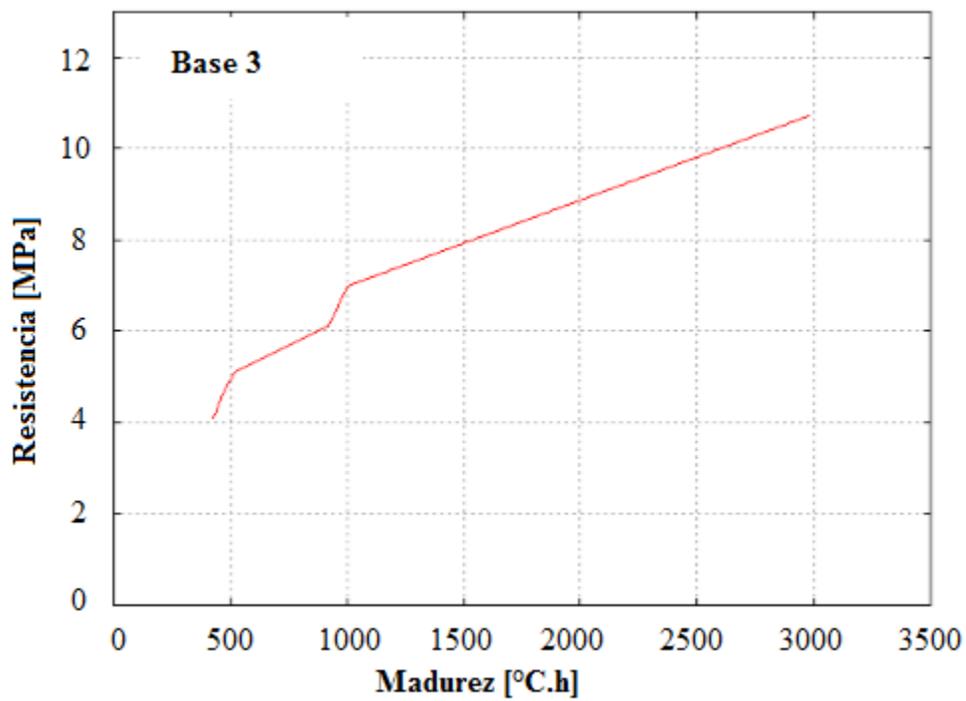


Figura 6. Resistencia vs madurez Base 3

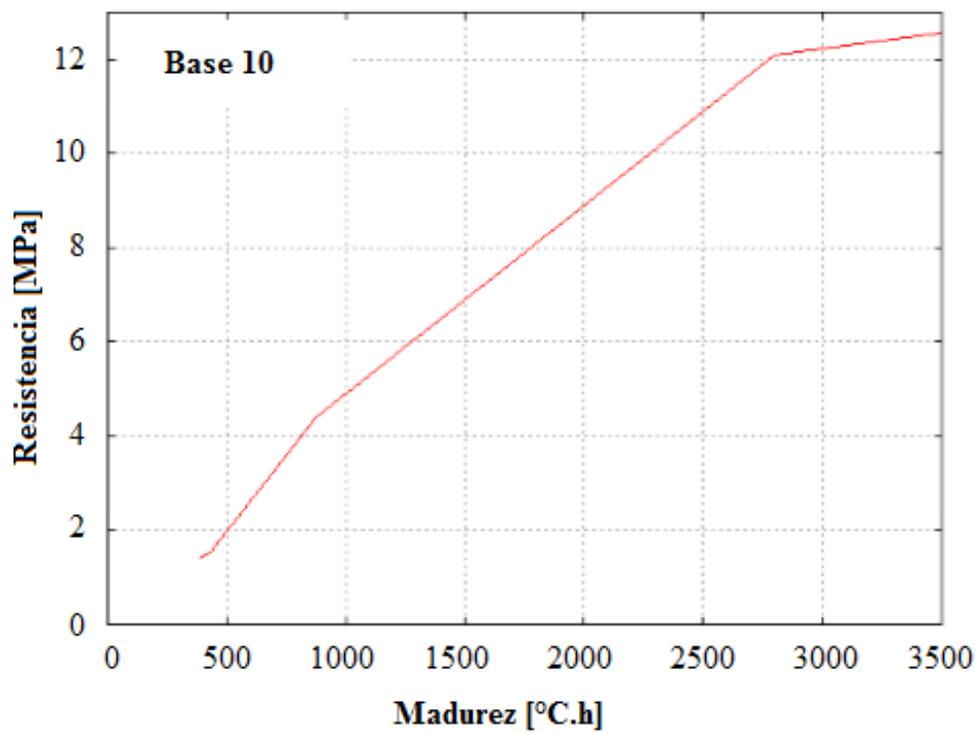


Figura 7. Resistencia vs madurez Base 10

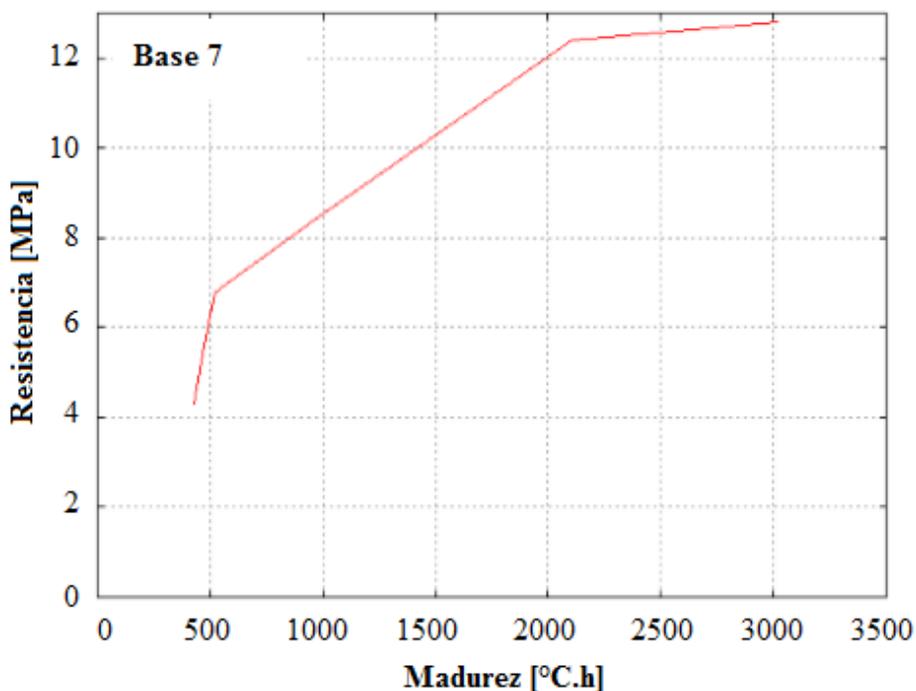


Figura 8. Resistencia vs madurez Base 7

Se observan en los mismos una buena correlación entre los valores determinados de madurez y los correspondientes a las resistencias. Los gráficos expresan los valores reales de resistencia de cada base determinados con el ensayo de probetas. Tabla 3.

Los sensores corroboran que el hormigón entregado a la obra cumplía con el valor de resistencia requerido por el pliego (H21). Los valores a 28 días de resistencia así lo confirman.

Tabla 3. Resistencias determinadas de las bases con probetas de hormigón a distintas edades

Base 3		Base 7		Base 10	
Edad horas	Resistencia en MPa	Edad horas	Resistencia en MPa	Edad horas	Resistencia en MPa
9	1,4	--	--	--	--
10	1,5	10	4,1	10	4,0
11	--	11	4,7	11	5,6
12	--	12	5,0	12	6,8
20	4,4	20	--	20	--
21	--	21	6,1	21	--
22	--	--	--	22	8,4
23	--	23	7,0	23	--
68	12,1	73	10,7	74	12,8
667	25,0	--	--	--	--

4. CONSIDERACIONES FINALES

En función de los resultados obtenidos en esta primera experiencia se pueden hacer las siguientes consideraciones:

El uso de esta metodología permite controlar la totalidad del hormigón recibido, sin necesidad de tomar una cantidad importante de probetas para su posterior ensayo.

La lectura de los sensores permite establecer la homogeneidad del hormigón y monitorear el desarrollo de la resistencia día a día.

La metodología será aplicada en nuestra próxima experiencia al monitoreo de la resistencia en una estructura completa de hormigón (losas, vigas y columnas).

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Empresa Constructora DINALE S.A., a la Empresa elaboradora de hormigón COINAR S.R.L. por la colaboración y datos aportados para realizar las experiencias y a los integrantes del Grupo GIICMA por su colaboración en los ensayos, en particular a la Becarios alumnos de Ing. Civil; Andrea Pereyra y Alberto Palacios .

6. REFERENCIAS

- ACI 325.11R-01 (2001), American Concrete Institute. Accelerated Techniques for Concrete Paving.
- ASTM C 1074 (1998), Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method.
- Barreda, M. F., Naber, M. J., Quispe Sallo, I., Sota, J. D. (2013), “*Fisuras de contracción en pavimentos de hormigón y el aserrado de juntas*”, XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción. CONPAT 2013. Octubre de 2013. Cartagena de Indias, Colombia.
- Sota, J. D., Avid, F. A., Chury, M., Moreira P. (2014), “*Medida de la madurez del hormigón de pavimentos urbanos para determinar su resistencia. Diseño de equipamiento*”, X Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. CINPAR 2014. 4 al 6 de junio de 2014. Santiago, Chile.
- Taylor, P. C., Kosmatka, S. H., Voigt, G. F. et al (2007), *Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: a State-of-the-Practice Manual*, FHWA Publication No. HIF - 07 – 004.