

Diseño de encofrados verticales: Dimensionado y Tiempos mínimos de desencofrado.

Vertical formwork design: Dimensioning and Minimum Demoulding Times.

Sofía Teixeira¹, Adrián Santilli², Iñigo Puente³

Recibido: Mayo 2015

Aceptado: Agosto 2015

Resumen.- El diseño de encofrados verticales depende de la predicción de la máxima presión lateral ejercida por el hormigón en estado fresco para el dimensionado de los paneles y del tiempo necesario de utilización de los mismos. En este trabajo se describen los modelos experimentales descritos en la bibliografía para predecir la máxima presión lateral ejercida por el hormigón autocompactante (HAC) en encofrados verticales y los tiempos de desencofrados propuestos por las diferentes normativas y los distintos autores en la literatura. Finalmente, se presenta un método de desencofrado desarrollado en base a la norma ASTM 1074 y la campaña experimental realizada en una de las hormigoneras más grandes de Uruguay para la validación de dicho método.

Palabras claves: Hormigón autocompactante (HAC); encofrados verticales; presión lateral; tiempos mínimos de desencofrado.

Summary.- *The design of vertical formworks depends on the maximum lateral pressure exerted by fresh concrete for dimensioning the panels and the time needed for use it. In this work, the experimental models to predict the maximum lateral pressure exerted by the self-compacting concrete (SCC) on vertical formwork are described. On the other hand, the minimum demoulding times proposed by different normatives and different researches in the literature are described. Finally, a formwork removal method based on the ASTM 403 standard is developed and experimental tests were carried out in Uruguay for the validation of the presented method.*

Keywords: *Self-compacting concrete (SCC); vertical formwork; lateral pressure; minimum demoulding times.*

Nomenclatura.

α : Coeficiente que se introduce para considerar las imperfecciones.

τ_0 : Tensión de fluencia del hormigón (Pa)

μ : Coeficiente de fricción (kg/m^2)

ρ : Densidad del hormigón (kg/m^3)

φ : Ángulo de fricción interna del material ($^\circ$)

e : Espesor del encofrado (m)

f_{MSA} : Factor de corrección referente al diámetro máximo del árido

f_{WT} : Factor de corrección referente al tiempo de espera entre tongadas

g : Constante de aceleración universal

r : Radio del encofrado (m)

A : Área transversal (m^2)

1 Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, Montevideo, Uruguay, steixeira1@um.edu.uy

2 Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, Montevideo, Uruguay, asantilli@um.edu.uy

3 TECNUN, Universidad de Navarra, San Sebastián, España, ipuente@tecnun.es

A_{thix} : Coeficiente de floculación (Pa/s)

D_{min} : Dimensión mínima del encofrado (mm)

H: Altura de llenado del encofrado (m)

HAC: Hormigón autocompactante

HV: Hormigón vibrado convencionalmente

K: Relación entre la presión lateral y vertical

L: Ancho del encofrado (m)

$PI_{\tau_{rest}15mins}$: Tensión de fluencia del hormigón medida en el plano inclinado luego de 15 minutos de reposo (Pa)

R: Velocidad de llenado (m/hr)

T: Temperatura del hormigón (°C)

$VP_{\tau_{rest}15mins}$: Tensión de fluencia del hormigón medida en el vano portátil luego de 15 minutos de reposo (Pa)

1. Introducción.- Tal cual lo establece el Art. 1 Anejo 17. EHE-08 [1], se define como hormigón autocompactante (HAC), a aquel hormigón que, como consecuencia de una dosificación estudiada y del empleo de aditivos superplastificantes específicos, se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación, no presentando segregación, bloqueo de árido grueso, sangrado ni exudación de la lechada.

Dos son los campos privilegiados de aplicación para este tipo de hormigones: las estructuras complejas con una gran densidad de armaduras, ya que elimina la compactación manual y permite rellenar perfectamente los encofrados dando una terminación superficial de gran calidad y la industria del hormigón prefabricado. Sin embargo, también se va incrementando, el empleo de HAC para la realización de estructuras convencionales.

Durante todo proceso constructivo se emplean estructuras temporales denominadas encofrados para poder moldear al hormigón en estado fresco, permitiendo obtener una pieza del tamaño y forma deseada. Los encofrados pueden variar desde estructuras simples hasta otras muy complejas, debiendo estar dimensionadas para soportar todos los esfuerzos ejercidos por el hormigón en estado fresco y aquellos producidos durante el desencofrado [2].

Hurd [3] establece que los objetivos a la hora de diseñar tanto los encofrados como sus elementos de soporte deben ser: seguridad, calidad y costo. Se puede afirmar que los dos primeros factores se encuentran íntimamente relacionados y condicionados por el tercero, ya que la economía de la construcción hace disminuir los coeficientes de seguridad.

Son dos los aspectos fundamentales a tener en cuenta al momento de diseño de encofrados verticales [4]: el dimensionado de sus paneles mediante la determinación de la máxima presión lateral ejercida por el hormigón sobre las paredes verticales del encofrado [5–7] y el tiempo mínimo de permanencia del encofrado en obra [8–11].

Por lo tanto, un conocimiento detallado no solamente de la máxima presión lateral, sino también de su velocidad de decaimiento, permitiría diseñar en forma óptima los encofrados verticales [4], así como los tiempos mínimos de desencofrado, con el consiguiente incremento en su competitividad.

Es así que en este trabajo se describen los diferentes modelos de predicción de presión máxima ejercida por el HAC sobre las paredes de los encofrados verticales y las diferentes normas que existen para la determinación de tiempos de desencofrado mencionados en la literatura existente.

Finalmente, se describe un método de desencofrado desarrollado por Santilli et al. [12] y la campaña experimental realizada para la validación del mismo.

2. Dimensionado de Encofrado Verticales.- Para realizar el dimensionado de encofrados verticales, debe considerarse el valor de la presión lateral realizada por el hormigón en estado fresco sobre las paredes de los encofrados. Sin embargo, dada la naturaleza heterogénea de las propiedades del hormigón fresco y la gran cantidad de factores que influyen en el fenómeno, la determinación de la máxima presión lateral es una tarea compleja, que generalmente se resuelve a partir de un modelo experimental.

La solución más simple es considerar al hormigón en estado fresco como un fluido y dimensionar el encofrado para poder soportar una presión lateral igual a la distribución hidrostática de un líquido de igual densidad que el hormigón., considerándose una distribución hidrostática de presión lateral. Esta simplificación, acota el máximo valor que puede adquirir la presión lateral real, resolviendo el problema en forma segura sin tener en cuenta el factor económico, debido a que según Gates y Scarpa [13], el coste de fabricación del encofrado es proporcional a la presión lateral de diseño. Por lo tanto, una sobreestimación de la presión lateral trae como resultado un aumento en el coste del encofrado, el cual Hanna y Senouci [14] establecen que puede ascender hasta el 60 por ciento del coste de una construcción, dato que es reafirmado más recientemente por Koczynski [15]. Por otro lado, el factor económico se ve limitado por otro factor de vital importancia: la seguridad ya que una subestimación de la presión lateral puede dar lugar a piezas de mala calidad o, en el peor de los casos, el fallo del encofrado.

Vanhove et al. [5] emplean una analogía con la teoría de Janssen [16] para determinar la presión de los granos sobre las paredes de los silos; adaptándola al cálculo de la presión lateral del hormigón ejercida sobre el encofrado. La Ecuación 1 determina la distribución de presión lateral en función de la altura del encofrado.

$$P_{max} = \frac{\rho g A - \alpha \tau_0 (2e + 2L)}{\alpha (2e + 2L) \mu K} \left(1 - e^{-\frac{\alpha (2e + 2L) \mu K}{A} H} \right) \quad 1$$

Ovarlez y Roussel [6] proponen un modelo físico teórico que caracteriza al *HAC* por su tensión de fluencia τ_0 , siendo esta una función creciente del tiempo en reposo, en donde la presión lateral puede determinarse a partir de las Ecuaciones 2 y 3.

Para un encofrado rectangular:

$$P_H = K \left[\rho g H - \frac{(H-e)^2 A_{thix}}{eR} \right] \quad 2$$

Si el encofrado es circular:

$$P_H = K \left[\rho g H - \frac{(H-r)^2 A_{thix}}{rR} \right] \quad 3$$

Khayat y Omran [7] determinan el valor de la máxima presión lateral utilizando un modelo estadístico a partir de datos experimentales obtenidos de una columna de PVC de 0,2 m de diámetro y 0,7 m de altura. En los ensayos se llenaron los 0,5 m inferiores del encofrado con *HAC* y luego se simularon diferentes alturas de posibles encofrados mediante inyección de aire a presión, llegando así a los 13 m de altura. Los autores determinan dos métodos empíricos para poder determinar los valores de la tensión de fluencia del *HAC* en reposo, estos son: Vano Portátil [17] y Plano Inclinado [18]. Si se emplea el primer método, la presión máxima se determina por la Ecuación 4.

$$K = \left[112 - 3,8H + 0,63R - 0,6T + 0,1D_{min} - 0,021VP_{\tau_{0_{rest15mins}}} \right] f_{MSA} f_{WT} \quad 4$$

Teixeira et al. [19] realizan una comparación de los modelos experimentales descritos anteriormente frente a dos casos experimentales de columnas de pequeña y gran altura. Los autores concluyen que para determinar la máxima presión lateral para hormigones autocompactantes es necesario determinar un parámetro reológico, los cuales no son habituales en obra. Es así que la aplicación de un modelo se justifica cuando la altura de la columna es importante y recomiendan en este caso el modelo propuesto por Khayat y Omran [7] como el más adecuado para determinar la máxima presión lateral en base al ejemplo analizado. Para el caso de alturas pequeñas (menores a 4 m), la máxima presión lateral para el hormigón autocompactante puede ser considerada igual a la distribución hidrostática.

3. Modelos de determinación de tiempos de desencofrado.- La norma española EHE [8], en su Artículo 75, incluye como valores de referencia, en caso de no disponer suficiente información y haber utilizado cemento de endurecimiento normal, plazos mínimos de desencofrado para encofrados verticales desde 9 hasta 30 horas conforme disminuye la temperatura. El código modelo CEB- FIP 1990 en su artículo 11.9 [20] establece los mismos tiempos de desencofrado determinados por la norma EHE [8]. Sin embargo, ambos establecen que estos tiempos se pueden reducir si se utilizan métodos de curado acelerado o encofrados deslizantes.

La norma ACI en sus diferentes ediciones 347 [9] tratan el tema de la misma manera que la norma española EHE [8], estableciendo como punto de partida que si bien el contratista es generalmente el responsable del proyecto, construcción y seguridad del encofrado, tiempos de desencofrado. Luego, establece 12 horas como tiempo mínimo para el desencofrado de elementos verticales con cemento de endurecimiento normal, cuando este fue curado a 10°C. Autores como Hurd [3] y Kirk Gregory [21] en sus trabajos hacen referencias a los tiempos mínimos de desencofrado recomendados por la Norma ACI 347 [9].

El Boletín 115 del CEB “Manuel de technologie coffrage” [2] trata el tema del desencofrado en su artículo 6.6 en el que expone que los encofrados verticales deben mantenerse hasta que el hormigón haya adquirido un endurecimiento suficiente para soportar sin daños las tensiones debidas al desencofrado. Establece así que, los encofrados se pueden retirar luego de que el hormigón tenga una resistencia a la compresión de 2 N/mm² en probetas cúbicas de 150 mm, o 2,5 N/mm² en probeta cilíndrica, siempre que estas hayan sido curadas en las mismas condiciones que las piezas a desencofrar.

Por otro lado, la norma BS8110 [22] expone que el tiempo de desencofrado depende de la resistencia al hormigón, de las tensiones en el hormigón y del curado. En caso que no se posea otra información, los plazos recomendados para el desencofrado de pilares o muros pueden ser de 12 horas para temperaturas iguales o mayores a 16°C o de 18 horas para el caso de temperaturas de 7°C. Establece que el plazo mínimo para el desencofrado en caso de temperaturas comprendidas entre 0 y 25 °C, se describen en la Ecuación 5.

$$t \text{ (horas)} = \frac{300}{T+10} \quad 5$$

La norma establece también que los valores mencionados anteriormente no deben ser usados si se emplean métodos de curado o de acelerado o encofrados deslizantes. Según se puede observar, la norma BS8110 da valores ligeramente superiores o iguales que la EHE, salvo en el caso de encofrado vertical a bajas temperaturas.

El “Manual Technology Formwork” [23] del CIB en su artículo 76 expone que el plazo estimado para alcanzar la resistencia del hormigón necesaria para desencofrar depende de los siguientes factores: las dimensiones del elemento a desencofrar, la resistencia del hormigón, el tipo de cemento, y la temperatura del hormigón y la temperatura ambiente.

La norma DIN 1045 [10] en su artículo 12.3 expone que el tiempo de desencofrado depende de los diferentes tipos de cemento, pudiendo variar entre 1 y 4 días para pilares y muros, siempre que la temperatura desde que se haya hormigonado el elemento no haya descendido los 5°C.

Harrison [11] según diferentes tablas, desarrolla un procedimiento para determinar tiempos mínimos de desencofrado según el tipo de hormigón, el tiempo de cemento, la temperatura media del aire, el tipo de encofrado, la temperatura media del hormigón y la dimensión mínima de la pieza a desencofrar.

Como se puede observar, dependiendo de los autores son muchos los parámetros que se tienen en cuenta al determinar los tiempos mínimos de desencofrado. Se puede concluir también que el único parámetro que se repite en todos los casos es la temperatura del hormigón.

3.1 Método práctico para determinar la resistencia de desencofrado en obra.- Santilli et al. [12] propone la utilización de los coeficientes de maduración determinado en la norma ASTM C1074 [24], para predecir el tiempo de desencofrado en piezas de hormigón. Esta herramienta toma en cuenta los resultados de tiempos de desencofrado de una primera pieza para luego ser replicado en piezas estructuralmente similares.

Para la creación de este método se parte de la norma ASTM C1074 [24], que establece una relación entre la maduración y la resistencia a la compresión in situ. La maduración puede calcularse mediante la edad equivalente, que se determina según lo establecido en la Ecuación 6.

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \times \Delta t \quad 6$$

Esta norma considera que para una dosificación dada la curva Resistencia – Maduración del hormigón es única. Por lo tanto, puede ser considerada un dato del proyecto. A partir de esta norma Santilli et al. [12] propone construir la curva Resistencia – Maduración (Figura 1) y a posteriori conociendo la resistencia a la que se desea desencofrar (R_d) y que cumple con los criterios de aceptación descritos por Rudeli y Santilli [25] se determina la maduración mínima, como se puede observar en la Figura 1.

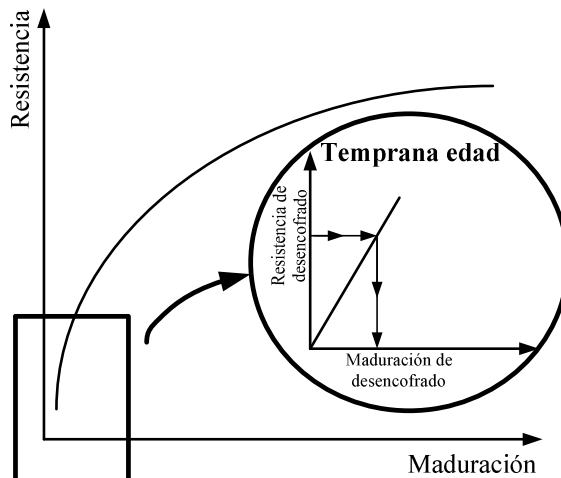


Figura 1.- Curva Resistencia – Maduración.

Por lo tanto, basta con seleccionar la resistencia que se desea alcanzar a la hora de desencofrar para determinar por medio de la curva la maduración correspondiente. En obra se medirá continuamente la maduración mediante un “Medidor de Madurez”, equipo que permite determinar ya sea la edad equivalente como el coeficiente de maduración para cada intervalo predefinido de tiempo.

4. Campaña experimental.- En base al método desarrollado en el punto 3.1 de este artículo, es que se procedió a realizar una campaña experimental, para validar dicha metodología. Si bien esta ya ha sido validada en hormigones vibrados por Rudeli et al. [25] Se decidió validar para el caso de hormigones autocompactantes.

La campaña experimental se conformó de dos grandes instancias. En primera instancia se procedió a la realización de la Curva Resistencia-Maduración para las dos dosificaciones de *HAC* más utilizadas por la empresa Concrexur. Estas dosificaciones no se detallan en este trabajo debido a los acuerdos de confidencialidad establecidos con la Empresa, por lo que se procederá a nombrar dosificación A y B para poder hacer referencia a cada una de ellas. Finalmente, una vez realizada la curva de Resistencia – Maduración para ambas dosificaciones, se procedió a validar la misma en obras donde se estén utilizando la dosificación A y B.

4.1 Realización de la curva Resistencia-Maduración.- A continuación se explicará el procedimiento llevado a cabo para la realización de la curva. En primera instancia, se procedieron al llenado de aproximadamente 10 probetas circulares de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto, para cada dosificación de *HAC*.

En las probetas se colocó un termopar con el fin de obtener el historial de temperatura cada un determinado intervalo de tiempo, desde el momento en que fueron llenadas las probetas. De esta manera, conforme fue posible ir desencofrando probetas sin que las mismas sufrieran alguna deformación y fueran capaces de resistir el desencofrado, se fueron ensayando las mismas a la compresión. Con esto se logró obtener diferentes resistencias a medida que aumentaba el tiempo y conocida la hora de rotura, y el historial de temperaturas registrado en el termopar, se podía determinar la edad equivalente de dicha probeta. Dicha temperatura fue medida hasta la edad de 28 días desde el día de llenado, con el fin de obtener la curva completa.

Los datos recopilados para la dosificación A y B, se detallan en la Tabla 1. Luego se procede a graficar dichos datos, resultando lo que se observa en la Figura 2.

Cabe destacar, que como puede observarse en la Tabla 1, no hay 10 datos como debería haber según la cantidad de probetas realizadas para cada dosificación, sino que se detallan 8 probetas para la dosificación A y 6 para la dosificación B. Esto es debido a que a tempranas edades las resistencias son bajas y hay probetas que se rompen al desmontarlas, o datos que resultan erróneos y son descartados.

Dosificación	Resistencia (MPa)	Edad Equivalente (hrs)
A	2.1	6.0
A	4.2	8.1
A	5.2	9.1
A	7.1	17.0
A	9.4	20.2
A	26.6	290.8
A	31.9	458.2
A	32.1	555.6
A	33.8	649.2
B	3.3	13.7
B	4.4	15.0
B	7.0	17.4
B	8.9	20.2
B	29.0	257.1
B	34.6	662.8

Tabla 1.- Datos obtenidos para la construcción de la Curva Resistencia – Maduración.

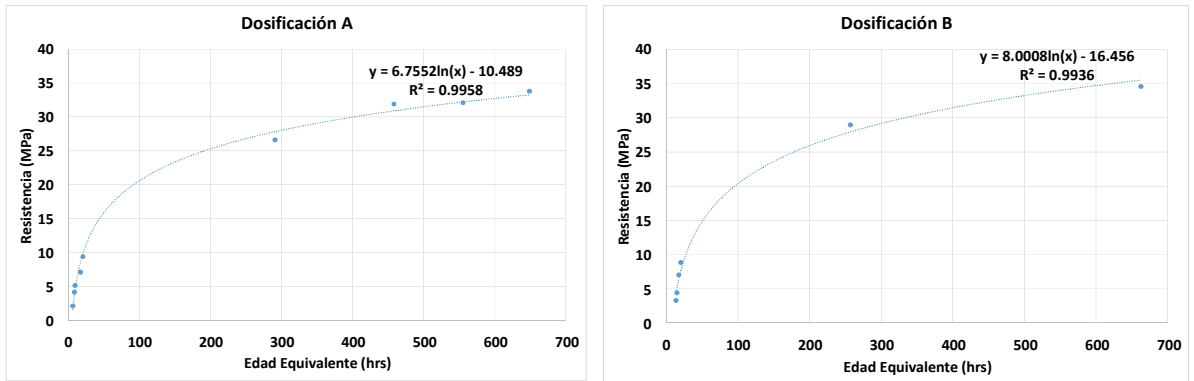


Figura 2.- Curva Resistencia – Maduración de las dosificaciones A y B.

4.2 Validación en obra.- Una vez finalizadas las curvas, se decidió validar la realización de la misma en obras que usaran las respectivas dosificaciones, ya que como se mencionó anteriormente, la curva es única para cada dosificación y es considerada un dato del proyecto.

La metodología tiene la ventaja que el Director de Obra puede fijar la resistencia de desencofrado que desee para cada pieza. Es así que, conociendo la curva Resistencia- Maduración de la dosificación de HAC utilizada y fijando la resistencia de desencofrado, se conoce el índice de maduración, como se observa en la Figura 1, al cual se debe desencofrar.

En este caso, con un termopar se monitorea la temperatura del elemento y cuando alcanza la maduración deseada se puede asumir que el elemento ha alcanzado la resistencia deseada para el desencofrado. En este trabajo los Directores de Obra con los que se ha trabajado para validar la metodología fijaron diferencias en el entorno de 15 MPa, debido a que se hormigonaban los encofrados en la tarde y al desencofrar al otro día ya el elemento había alcanzado esa resistencia en la mañana siguiente.

En el caso de la dosificación A, luego de una reunión con el Director de Obra, es que se acordó validar la curva para seis pilares en la obra de la construcción de los edificios ubicados en Nuevo Centro Shopping a cargo de la empresa Ebital S.A. Es así que, al momento de llenado de los pilares se colocaba un termopar en la pieza y otro en una probeta de muestra que se obtenía. De esta manera, se desencofraron los seis pilares en diferentes momento y en cada caso al momento de desencofrar se ensayaba la probeta para conocer la resistencia a la compresión de la misma.

Luego, con este valor de resistencia obtenida y la maduración se ingresaba en la curva y se calculaba el error de cada uno. Los datos obtenidos de estos ensayos en la obra de la construcción de los edificios ubicados en Nuevo Centro Shopping se resumen en la Tabla 2 (Curva A) y la gráfica con los puntos obtenidos en la validación se puede observar en la Figura 3.

El mismo procedimiento se realiza para el caso de la curva realizada con la dosificación B, solo que en este caso esta dosificación es utilizada en la obra de la construcción de Silos en el Puerto de Montevideo a cargo de la Empresa Saceem y la validación se realiza para cinco pilares. Los datos obtenidos de los ensayos realizados con la dosificación B, se resumen en la Tabla 2 (Curva B) y los puntos graficados para la validación de la curva se pueden observar en la Figura 3.

Validación	Pieza	Altura (m)	Sección Transversal	Edad Equivalente (hrs)	Resistencia Práctica (MPa)	Resistencia Teórica (MPa)	Error
Curva A	Pilar	2.45	Ancho= 0,18 m y Largo =3.2 m	32.81	12.5	13.092	4.52%
Curva A	Pilar	2.45	Ancho= 0,18 m y Largo =3.2 m	41.89	14.15	14.742	4.02%
Curva A	Pilar	2.45	Ancho= 0,18 m y Largo =3.2 m	62.91	17.11	17.489	2.17%
Curva A	Pilar	2.45	Ancho= 0,18 m y Largo =3.2 m	37.92	14.27	14.069	1.43%
Curva A	Pilar	2.45	Ancho= 0,18 m y Largo =3.2 m	28.64	11.72	12.173	3.72%
Curva A	Pilar	2.45	Ancho= 0,18 m y Largo =3.2 m	54.66	16.04	16.539	3.02%
Curva B	Pilar	7	Diámetro = 0.6 m	38.5	12.3	12.752	3.54%
Curva B	Pilar	7	Diámetro = 0.6 m	46.5	13.67	14.262	4.15%
Curva B	Pilar	3.4	Diámetro = 0.35 m	51.5	15.1	15.079	0.14%
Curva B	Pilar	3.4	Diámetro = 0.35 m	64.3	16.5	16.856	2.11%
Curva B	Pilar	3.4	Diámetro = 0.35 m	69.1	17.9	17.432	2.68%

Tabla 2.- Datos obtenidos de los ensayos de validación.

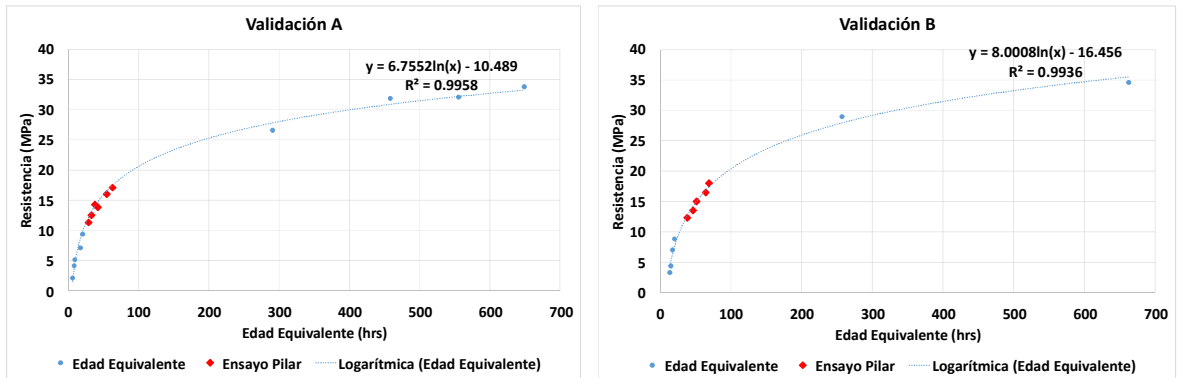


Figura 3.- Curva Resistencia – Maduración con datos de validación obtenidos en obra.

4.3 Cálculo de error.- La determinación del error de desviación de los pilares ensayados en comparación con la Curva resistencia – Maduración construida se calculó según la Ecuación 7 y se puede observar en la

Tabla 2.

$$\text{Error} = \frac{(\text{Resistencia}_{\text{teórica}} - \text{Resistencia}_{\text{práctica}})}{\text{Resistencia}_{\text{teórica}}} \quad 7$$

5. Conclusiones.- En base a la revisión bibliografía realizada, la metodología de desencofrado propuesta y el estudio de validación de dicha metodología mediante la realización de una campaña experimental en dos obras de Montevideo – Uruguay, es que se puede concluir que la metodología propuesta puede ser utilizada para hormigones autocompactantes, destacando que la importancia de la utilización de esta curva radica que a pesar de que en obra se desee el desencofrado de las piezas a diferentes resistencias la metodología aún es válida. Únicamente es necesario introducir la resistencia que se desea alcanzar en la curva característica del hormigón y determinar la maduración para esta resistencia. El error de desviación resultante es menor al 5%, lo que demuestra que la metodología puede perfectamente utilizada en obra. Cabe destacar que la validación se realizó en dos obras diferentes por lo que las condiciones en ambos casos fueron totalmente distintas, verificando aún más la posibilidad de utilizar la metodología propuesta por la norma ASTM C1074 [24] para la determinación de coeficientes de maduración como método de desencofrado.

6. Referencias

- [1] EHE-08, “Instrucción de Hormigón Estructural - Anejo 17,” 2008.
- [2] CEB, “Manuel de Technologie Coffrage,” Bull. d’Information 115, 1976.
- [3] M. Hurd, “Formwork for concrete.,” Am. Concr. Inst., 2005.
- [4] A. Santilli, I. Puente, and M. Tanco, “Fresh concrete lateral pressure decay : Kinetics and factorial design to determine significant parameters,” Eng. Struct., pp. 114–122, 2013.
- [5] Y. Vanhove, C. Djelal, and A. Magnin, “Prediction of the lateral pressure exerted by Self-Compacting Concrete on formwork,” Mag. Concrete Res., vol. 56, no. 1, pp. 55–62, 2004.

- [6] G. Ovarlez and N. Roussel, "A Physical Model for the Prediction of Lateral Stress Exerted by Self-Compacting Concrete on Formwork," *Mater. Struct.*, vol. 39, no. 2, pp. 269–279, Apr. 2005.
- [7] K. H. Khayat and A. F. Omran, "Evaluation of SCC Formwork Pressure," *Concr. InFocus*, no. August, 2009.
- [8] EHE-08, "Instrucción de hormigón estructural," 2008.
- [9] ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete," *Am. Concr. Inst.*, 2004.
- [10] DIN 1045-3, "Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung," 2012.
- [11] T. A. Harrison, "Tables of Minimum Striking Times for Soffit and Vertical Formwork," *CIRIA Rep.*, vol. 67, 1977.
- [12] a. Santilli, S. Teixeira, and I. Puente, "Influence of temperature and concrete reinforcement on vertical formwork design," *Constr. Build. Mater.*, vol. 88, pp. 188–195, Jul. 2015.
- [13] M. Gates and A. Scarpa, "Concreting and Formwork Logistics and Optimization," *J. Constr. Div. ASCE*, vol. 104, no. 6, pp. 219–240, 1978.
- [14] A. S. Hanna and A. B. Senouci, "Material Cost Minimization Wall Forms," *Build. Environment*, vol. 32, no. 1, pp. 57–67, 1997.
- [15] Kopczynski, "Formwork Efficiencies," *Concr. Int.*, pp. 41–43, 2008.
- [16] H. Janssen, "Versuch über Getreidedruck in SillozeUen.," *VDI Zeitschrift*, vol. 39, pp. 1045–1049, 1895.
- [17] A. F. Omran, S. Naji, and K. H. Khayat, "Portable Vane Test to Assess Structural Buildup at Rest of Self-Consolidating Concrete," *ACI Mater. J.*, no. 108, 2011.
- [18] K. H. Khayat, A. F. Omran, and T. V. Pavate, "Inclined Plane Test to Evaluate Structural Buildup at Rest of Self-Consolidating Concrete," no. 107, pp. 515–522, 2010.
- [19] S. Teixeira, A. Santilli, and I. Puente, "MÁXIMA PRESIÓN LATERAL EN HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES," *Mem. Investig. en Ing.*, vol. 11, pp. 7–14, 2013.
- [20] Código Modelo CEB-FIP, "Codigo Modelo para Hormigón Estructural," *Com. Euro-internacional Del Hormigón*, 1990.
- [21] R. Kirk Gregory, "Concrete Formwork.," *Handb. Tempor. Struct. Constr.* Cap 14. *Mc Graw – Hill B. Co.*, 1996.
- [22] BS 8110-2, "Structural use of concrete — Part 2: Code of practice for special circumstances," *Br. Stand.*, 1985.
- [23] CIB, "Manual of technology, Formwork," 1985.
- [24] ASTM C1074-04, "Estimating Concrete Strength by the Maturity Method," 2004.
- [25] N. Rudeli and A. Santilli, "Tiempos de desencofrado de elementos verticales en hormigón armado: Método a través de coeficientes de maduración y encuesta en Uruguay," vol. 12, pp. 45–55, 2014.