

Tiempos de desencofrado de elementos verticales de hormigón armado: Método a través de coeficientes de maduración y encuesta en Uruguay

Vertical Concrete Elements Striking Times: Maturity method and Uruguay Survey.

Natalia Rudeli¹, Adrián Santilli,²

Recibido: Mayo 2014

Aceptado: Julio 2014

Resumen.- Para la construcción de elementos verticales de hormigón se emplean estructuras temporales denominadas encofrados. Su utilización representa uno de los mayores costos que deben afrontar las empresas constructoras y que puede ascender hasta un 60% del costo total del hormigón. En este artículo se muestran los resultados de una encuesta realizada a más de 100 personas relacionadas con la construcción, donde se puede concluir el amplio desconocimiento en el tema de tiempos óptimos de desencofrado. En general, el mecanismo y los tiempos de desencofrado son decididos arbitrariamente y no se utiliza una metodología para determinarlos. Adicionalmente, se presenta una metodología para determinar el tiempo de desencofrado de elementos verticales de hormigón a partir de la utilización del método de los Coeficientes de Maduración que toma en cuenta las variaciones de temperatura a lo largo del período comprendido entre el llenado y el desencofrado. Esta metodología permite predecir el tiempo mínimo de desencofrado independientemente del tipo de hormigón utilizado, a partir de la medición continua de los coeficientes de maduración del hormigón en obra.

Palabras clave: Desencofrado; Maduración, Elementos verticales de hormigón.

Summary.- For the construction of vertical concrete elements temporary structures called formwork are used. Their use represents one of the higher cost that construction companies has affront and in some cases may rise up to 60% of the total cost of the concrete. In this article the results of a survey realized to more than 100 construction-related people are shown, where it can be concluded the ignorance on optimal times striking times issue. In general, the striking mechanism and timing are arbitrarily determined and non-methodology is used to determine them. Additionally, a methodology is presented to determine the striking time of vertical concrete elements by the use of the maturity method that takes into account temperature variations along the filling and striking period. This methodology allows predicting the minimum striking time regardless of the type of concrete used, through the continuous measurement of the maturity coefficients in situ.

Keywords: Formwork; Maturity; vertical concrete elements.

1. Introducción.- En Uruguay el hormigón es el material más utilizado a la hora de construir debido a su resistencia, durabilidad y facilidad para elaborar piezas con diversas formas y tamaños.

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

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

Durante el proceso constructivo se emplean estructuras temporales denominadas encofrados, que se utilizan para moldear el hormigón fresco a la forma deseada. La utilización de estas estructuras, en general alquiladas, es uno de los costos más importantes en los que incurren las empresas constructoras a la hora de realizar estructuras de hormigón.

Hurd [1] considera que a la hora de dimensionar un encofrado los tres factores fundamentales son: seguridad, calidad y precio. Por seguridad se entiende que la estructura sea capaz de soportar todos los esfuerzos a los que será sometido. Se define calidad como la capacidad del encofrado de proporcionar a la estructura el tamaño, forma, posición y terminación deseada, y por último el precio se refiere al ahorro de tiempo y dinero en el período comprendido entre el llenado y el desencofrado.

Se puede afirmar que la seguridad y calidad están estrechamente relacionadas entre sí, en general a mayor calidad del encofrado se logra una mayor seguridad en la estructura. Sin embargo, el precio actúa en sentido contrario, es decir a mayor seguridad y calidad se tiene mayor costo. Por lo tanto, si el encofrado es retirado tempranamente, la estructura puede sufrir fallos que afecten a la estabilidad y/o funcionalidad de la misma, perjudicando a su seguridad. Por otro lado, una remoción tardía puede originar grandes sobrecostos a las empresas, no sólo por el incremento en el costo de alquiler del encofrado sino porque representa un capital bloqueado entre el proceso de hormigonado y desencofrado, atrasos en el cronograma de obra y costos indirectos en este período.

Por lo tanto es importante determinar los tiempos óptimos de desencofrado para garantizar la calidad de la pieza de hormigón al menor costo posible.

2. Desencofrado en Uruguay.- El objetivo principal de esta sección es poder determinar cómo es la situación actual en Uruguay con respecto a los tiempos de desencofrado, cuáles son las metodologías más utilizadas o cuales serían del agrado de las empresas constructoras (refiriéndose no solo a técnicos y capataces, sino también a todo aquel personal que tenga en sus manos la decisión de cuándo desencofrar).

Siguiendo las recomendaciones de Jaramillo [2] para la realización de encuestas y diseño de las mismas se consideró una muestra poblacional dividida en tres grandes sectores:

1. **Técnicos**, que incluye ingenieros, arquitectos o directores de obra con conocimientos técnicos. (35 personas)
2. **Mandos medios**, en donde se incluye a toda persona con gente a cargo, capataces o punteros. (35 personas)
3. **Oficiales**, que incluye oficiales finalistas y oficiales. (35 personas)

Las más de 100 personas entrevistadas tienen una experiencia promedio (considerando experiencia los años de trabajo en la construcción de cada entrevistado) de: técnicos 12 años, mandos medios 20 años, Oficiales 20 años. Las empresas que han sido seleccionadas para la encuesta abarcan empresas constructoras, empresas de premoldeados y empresas de ventas de maquinarias para la construcción.

En la primer etapa de la encuesta se apunta a conocer si el encuestado ha determinado el tiempo de permanencia de un encofrado vertical. Los resultados de la misma muestran que un 20% de los técnicos no ha diseñado los tiempos mínimos de encofrado de un elemento vertical, mientras que en el grupo de mandos medio únicamente un 2% de la muestra no ha diseñado o decidido estos tiempos. Por último en el grupo de oficiales existe un gran porcentaje (49%) que nunca ha decidido sobre los tiempos mínimos de encofrado.

La encuesta consta de una segunda etapa en donde se apunta a conocer si los entrevistados utilizan algún tipo de normativa o regla general para determinar los tiempos mínimos de desencofrado. De este modo se busca conocer como es el desencofrado en Uruguay y que técnicas o estrategias se utilizan para determinar estos tiempos en obra.

En la Figura V se observa que en Uruguay en general no se utiliza una normativa para determinar los tiempos mínimos de desencofrado. Un 88% de los encuestados declaran no utilizar ningún método o regla y de las personas que dicen utilizar una metodología un 70% de ellas utilizan o recomiendan tiempos de desencofrado basados en la práctica sin ninguna justificación teórica.

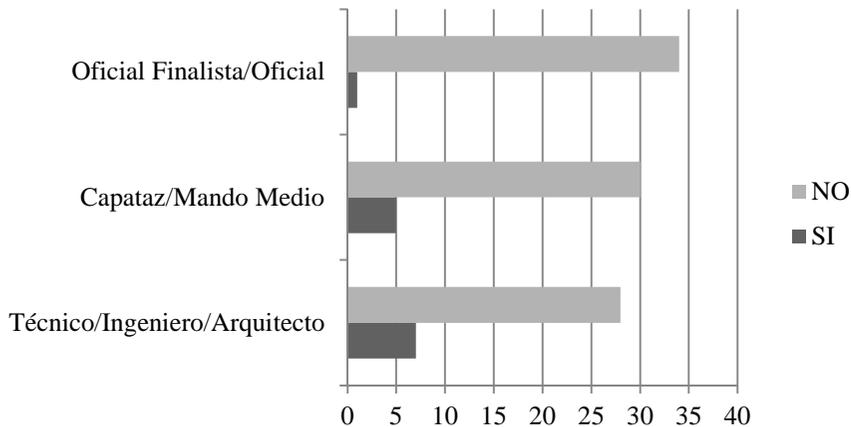


Figura V.- ¿Utiliza algún tipo de normativa o regla general para determinar el tiempo de desencofrado de elementos verticales de hormigón?

Así mismo, cabe destacar que el 52% de las personas que no utilizan un método para determinar los tiempos de desencofrado declaran que el encofrado es retirado dependiendo de la necesidad de su uso, y que en general permanece en pie una semana, de tal modo que es retirado cuando hay necesidad de encofrar los pilares del piso superior.

Se puede concluir entonces que en Uruguay la mayor parte de las personas entrevistadas no utilizan o tienen una metodología para determinar los tiempos mínimos de desencofrado, y más aún el 70% de las personas que declaran utilizar un método, éste se basan en la experiencia práctica y no en una normativa vigente.

El desconocimiento general sobre el tema de tiempos mínimos de desencofrado, sumado a que el costo del encofrado puede llegar a representar un alto porcentaje del costo total de los materiales de una obra, hacen que el estudio profundo de los mismos sea de importancia.

3. Variables que influyen en el desencofrado.- Para poder desarrollar una metodología que permita determinar los tiempos mínimos de desencofrado se hace necesario conocer todos los factores que influyen en el mismo. Por lo que en este apartado serán expresados los factores que influyen en el tiempo de desencofrado mencionados en la literatura existente y que se encuentran ordenados por familias: características del hormigón, específicos del proyecto, factores ambientales, y características del encofrado que se resumen en la Tabla I.

Características del hormigón	Especificaciones del proyecto	Factores ambientales	Características del encofrado
<ul style="list-style-type: none"> Módulo de deformación:[3] Resistencia a la compresión:[3-10] Tipo y contenido de Cemento: [5],[8],[11] Relación Agua/Cemento:[5] Tiempo de fraguado: [3-4],[8], [12-14] Aditivos: [5],[11], [15] Cociente entre la resistencia a los 28 días /resistencia a los 7 días:[15] Temperatura del hormigón:[5-6],[8],[11-12] 	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia de diseño de la estructura: [4], [13] Carga luego del desencofrado: [4], [16-17] Relación F/P: [14], [16] Curado del hormigón:[7] Secuencia de desencofrado: [11] Velocidad de compactación: [8] 	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura: [5-6], [8-9], [11], [13], [15-17] Clase de exposición del hormigón:[18] Humedad:[10] 	<ul style="list-style-type: none"> Dimensiones transversales de la pieza: [5-6], [12] Tipo de encofrado: [5], [10],[15] Encofrado con ángulos entrantes: [15] Permeabilidad y rugosidad del encofrado: [14],[16]

Tabla I.- Variables que afectan al tiempo de desencofrado según literatura existente

Dónde F/P, es la relación entre la carga que actuará luego del desencofrado o carga de diseño y carga que actúa en el momento del desencofrado que incluye el peso propio y por clase de exposición se refiere a la estandarización propuesta por la norma DIN 1045-2 [18].

Estos factores han sido tomados en consideración para la realización de una tercer etapa de la encuesta, en donde se destaca la temperatura, el uso de aditivos y el tipo y contenido de cemento dentro de las variables que los encuestados consideran influyentes en la determinación de los tiempos mínimos de desencofrado.

Estos resultados se pueden ver en la Figura VI. En esta se puede apreciar que el 31% de los encuestados creen que la temperatura es determinante a la hora de decidir los tiempos mínimos de desencofrado, el 29% cree que el uso de aditivos es influyente, mientras que el 21% piensa que el contenido y tipo de cemento afecta a los tiempos mínimos de desencofrado. El restante 19% se divide entre personas que piensan que otros factores como la resistencia característica del hormigón, el módulo de elasticidad, la relación agua cemento, las dimensiones transversales de la pieza, la clase de exposición y la humedad son factores determinantes.

De este modo una metodología que tenga en cuenta la temperatura, el uso de aditivos y el contenido de cemento para determinar los tiempos mínimos de desencofrado es deseable.

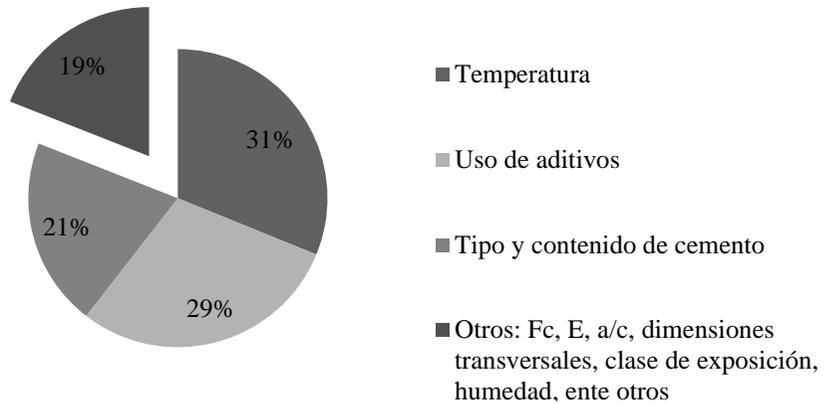


Figura VI.- ¿Cuáles factores cree que influyen en la determinación de los tiempos mínimos de desencofrado de una pieza de hormigón?

4. Criterios de aceptación.- En esta sección se busca conocer cuáles son los criterios de aceptación para una pieza recientemente desencofrada con el fin de proponer una metodología que los tome en cuenta.

Por un lado, dentro de la literatura existente Harrison [19] propone que un elemento vertical de hormigón cumple con las condiciones mínimas de desencofrado para garantizar la seguridad y calidad si:

- No se produce descascaramiento de la pieza debido a que el hormigón no adquirió la cohesión necesaria para soportar el desencofrado.
- No se producen roturas de aristas causadas por las tensiones de corte introducidas a la pieza durante el desencofrado.

Una cuarta etapa de la encuesta fue llevada a cabo con el fin de conocer cuáles son los criterios que se utilizan en Uruguay para determinar la aceptación o rechazo de una pieza de hormigón recientemente desencofrada.

En primer lugar, la mayor parte de los encuestados pertenecientes a cualquiera de los tres grupos se han mostrado a favor de comprobar los criterios propuestos por Harrison [19], esto se puede ver en la Figura VII, en donde el 91% de los entrevistados han contestado positivamente a la pregunta.

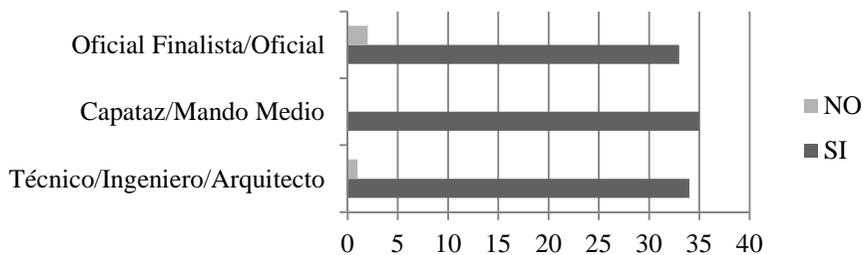


Figura VII.- ¿Usted considera que el descascaramiento de fragmentos de hormigón o roturas en las aristas y esquinas de una pieza de hormigón son factores a verificar para la aceptación de una pieza de hormigón luego del desencofrado?

Adicionalmente, se realizó una nueva serie de preguntas que apunta a determinar que otros criterios el encuestado utilizaría para dar por aceptada una pieza de hormigón recientemente desencofrada. En los resultados se puede ver que la mayor parte de los encuestados (47%) creen que además de los criterios anteriormente mencionados se deben verificar posibles fisuras que aparezcan en la superficie de la pieza de hormigón.

Un 30% cree que una terminación lisa superficial es vital para la aceptación de la pieza, mientras que un 11% cree un correcto vibrado es fundamental para la aceptación de la misma (manifestándose este en la cantidad de huecos con aire que se ven en la superficie de la pieza, a mejor vibrado menor cantidad de desconexiones en el hormigón).

Finalmente un 10% mencionó que inspecciona posibles desviaciones de los hierros y falta de recubrimiento que hacen que los mismos se encuentren en la superficie y el 2% restante menciona otros factores. Todo esto se ve reflejado en la Figura VIII.

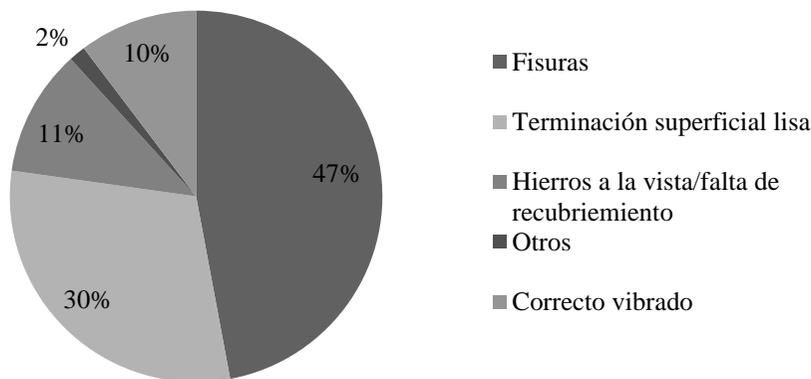


Figura VIII.- ¿Qué otros factores usted verifica al momento del desencofrado de un elemento vertical de hormigón para dar por aceptada la pieza?

Se puede concluir entonces que a la hora de aceptar una pieza de hormigón en Uruguay se verifican los siguientes criterios:

- Descascaramiento de fragmentos de hormigón
- Roturas en las aristas o esquinas de la pieza
- Aparición de fisuras
- Terminación lisa de la pieza
- Correcto vibrado de la misma
- Hierros a la vista o falta de recubrimiento

Es por ello que la metodología para determinar tiempos mínimos de desencofrado debe tener en cuenta estos criterios de aceptación.

5. Método para determinar tiempos mínimos de desencofrado.

5.1. Coeficiente de maduración.- El método de los coeficientes de maduración es una técnica reconocida para la medición del efecto combinado que tienen la temperatura y el tiempo en el desarrollo de la resistencia en el hormigón permitiendo obtener así, una estimación confiable de la resistencia y de su desarrollo in-situ.

Este método se basa en la utilización de las medidas de temperaturas históricas del hormigón para estimar la resistencia que desarrollará durante el tiempo de curado siempre y cuando existan las condiciones de humedad adecuadas para la hidratación del cemento.

Los registros de temperatura históricos son usados para calcular lo que se conoce como coeficiente de maduración y para cada una de las diferentes dosificaciones de hormigón la relación entre la resistencia (o cualquier otra propiedad que pueda ser de interés) y el coeficiente de maduración puede ser establecida de antemano.

De estudios propuestos por Nurse [20] y Saul [21] se desprende la conocida ecuación de Nurse-Saul que posteriormente toma la Norma Americana ASTM C1074 [22]:

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \times \Delta_t$$

(Ec. 1)

Dónde:

- M , es el coeficiente de maduración en °C-horas o °C-días
- T , es el promedio de las temperaturas en °C durante el intervalo de tiempo Δ_t
- T_0 , es la temperatura de referencia
- t , es el tiempo transcurrido, en horas o días
- Δ_t , es el intervalo de tiempo en horas o días

Según Brooks et al.[23], T_0 es la temperatura a la cual el cemento deja de reaccionar o la temperatura a la cual el hormigón no adquiere resistencia. Brooks et al. [23] y Carino et al.[24] consideran un valor de T_0 igual a -10°C . A pesar de esto la Norma ASTM C1074 [22] considera que para condiciones normales este valor debe ser 0°C ya que no se suele hormigonar a temperaturas menores.

En investigaciones de Carino et al. [25] se aplicó este método a condiciones simuladas o condiciones de laboratorio y condiciones de obra, siendo la conclusión obtenida de suma importancia:

“Para la misma dosificación y el mismo coeficiente de maduración se tendrá la misma resistencia sin importar la combinación de temperatura y tiempo que conformen el coeficiente de maduración”.

Al índice M se lo conoce como índice de maduración y se obtiene como el área bajo la gráfica de la temperatura del hormigón en función del tiempo (menos el área bajo la gráfica de la temperatura de referencia), como se muestra en la Figura IX. La importancia del método de los coeficientes de maduración radica en que para la misma dosificación y el mismo coeficiente de maduración se tendrá la misma resistencia sin importar la combinación de temperatura y tiempo.

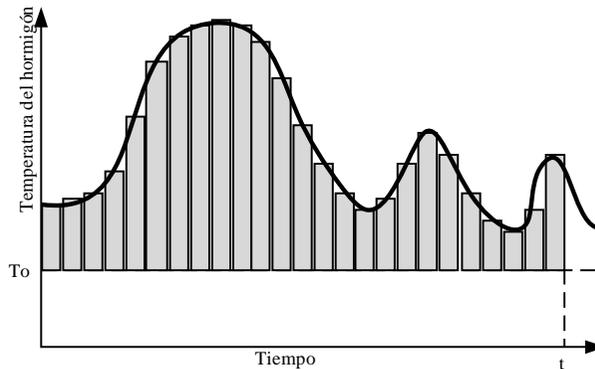


Figura IX.- Temperatura del hormigón en función del tiempo, determinación del coeficiente de maduración gráficamente.

5.2. Tiempos de desencofrado a través de los coeficientes de maduración.- Richardson [26] propone la utilización de la edad equivalente mediante la metodología de coeficientes de maduración para predecir el tiempo de desencofrado en piezas de hormigón con agregados de GGBS. Esta herramienta toma en cuenta los resultados de tiempos de desencofrado de una primera pieza para luego ser replicado en piezas estructuralmente similares.

Adicionalmente para la creación de este método se parte de la norma ASTM C1074 [22], que establece una relación entre la maduración y la resistencia a la compresión in situ. 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 y lo expuesto por Richardson [26], la metodología que se propone consiste en construir la curva Resistencia – Maduración (Figura X). Posteriormente, conociendo la resistencia a la que se desea desencofrar (R_d) y que cumple con lo establecido en el punto 4 de este artículo se determina la maduración mínima, como se puede observar en la Figura X.

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 el Coeficiente de Maduración para cada intervalo predefinido de tiempo mediante la Ecuación 1).

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. De este modo se puede retirar el encofrado una vez que el hormigón haya alcanzado la maduración determinada anteriormente. La metodología descrita ha sido enviada a la revista Engineering Structures y se encuentra en proceso de revisión (Rudeli et al.[27]).

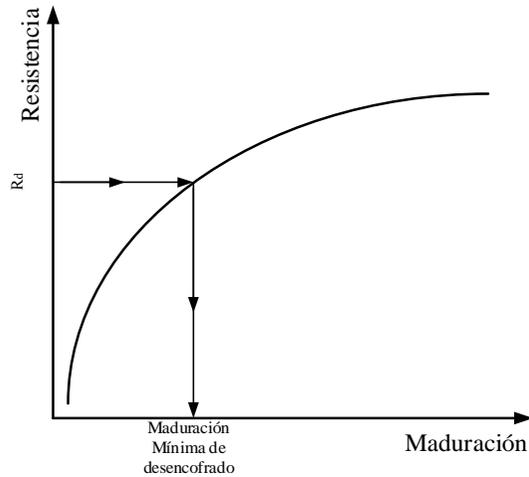


Figura X.- Curva Resistencia-Maduración

6. Aceptación del método en Uruguay.- Adicionalmente la encuesta apunta a conocer la aceptación de la metodología planteada y a determinar la resistencia del hormigón a la cual en Uruguay se está dispuesto a retirar el encofrado con el fin de adaptar la metodología a nuestro país.

En cuanto a la aceptación general de la metodología para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado través de los coeficientes de maduración se tiene que el 85% técnicos encuestados declaran que utilizarían la metodología, en el grupo de mandos medios un 77% también la utilizaría y finalmente el numero decae en el grupo de oficiales en donde la aceptación de la metodología desciende al 60%.

A pesar de ello, cabe recordar que casi la mitad de los encuestados dentro de la categoría de Oficiales declararon no haber determinado nunca el tiempo de desencofrado de elementos verticales de hormigón. En la Figura XI se muestran estos resultados, de donde se puede concluir que la metodología propuesta es ampliamente aceptada por los entes de la construcción y que se podría aplicar en Uruguay sin mayores inconvenientes.

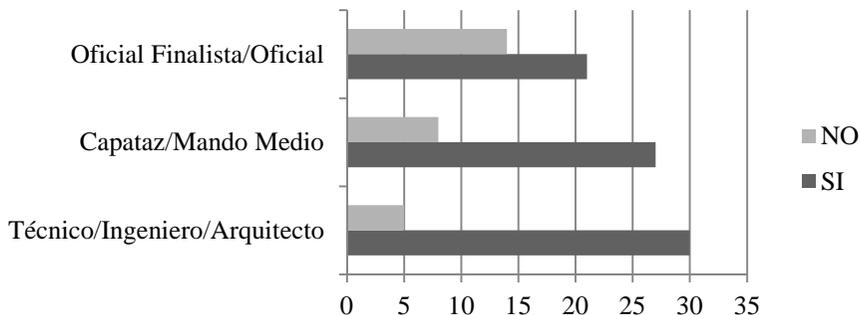


Figura XI.- Aceptación de la metodología propuesta

En cuanto a la resistencia para el desencofrado, en la literatura algunos autores proponen valores de resistencias mínimas para el desencofrado: Bs 8110-2 [7] y Harrison [19] que afirman que para el desencofrado del hormigón se debe tener una resistencia mínima de 5 MPa, Masana [28]

y Clear [29] proponen una resistencia de 2 MPa y Caravela [30] afirma que la mínima resistencia es de 8 MPa siempre en probetas cúbicas.

En contrapartida, los encuestados declararon que la resistencia promedio a la que recomiendan desencofrar es de 7.66 MPa. Cabe destacar que dentro del grupo de Ingenieros y técnicos el 100% de la muestra recomendó una resistencia para el desencofrado, mientras que en el grupo de mandos medio un 94% la recomendó. Finalmente el mayor desconocimiento sobre el tema se da en el grupo de oficiales, en donde únicamente un 66% recomendó una resistencia óptima para desencofrado.

A pesar de ello la resistencia promedio de 7.66 MPa tiene una desviación estándar asociada de 10MPa, lo que muestra el amplio desconocimiento acerca del tema de tiempos de desencofrado entre los encuestados y remarca la necesidad de un estudio más detallado de la resistencia óptima para el desencofrado.

7. Conclusiones.- Se puede concluir que la decisión de los tiempos de desencofrado de elementos verticales de hormigón se encuentra en el nivel de mandos medios y/o en manos de Técnicos, Ingenieros y Arquitectos.

Los factores fundamentales que los encuestados consideran que influyen en el tiempo mínimo de desencofrado son: temperatura, uso de aditivos, tipo y contenido de cemento.

Referente a la utilización de algún tipo de normativa o regla general para determinar los tiempos mínimos de desencofrado, en Uruguay un 88% de los encuestados declaran no utilizar ningún método o regla para determinar los tiempos mínimos de desencofrado, mientras que el 70% de las personas que declaran tener un método recomiendan tiempos de desencofrado basados en la práctica diaria. Esto muestra el amplio desconocimiento en materia.

En este artículo además se propone una metodología para determinar tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón en la que basta con transformar el valor de resistencia requerida para el desencofrado en valores de madurez mínima para obtener una condición de desencofrado óptima. La principal ventaja de esta metodología es que no importa la resistencia a la que se desea desencofrar se puede obtener un tiempo óptimo de desencofrado.

8. Referencias

- [1] M. K. Hurd, "Pressure on Wall and Column Forms," 2005.
- [2] Jaramillo, "Serie aprender a investigar, del instituto colombiano de enseñanza superior," ICFES Publicaciones, 1999.
- [3] E. Torroja, "Especial para estructuras de hormigón armado," Instr. H.A.61, 1961.
- [4] F. Eriksson, T. Hansen, and H. Holst, "Determinación del momento del desencofrado," Estocolmo, 1962.
- [5] T. A. Harrison, "Tables of Minimum Striking times for soffit and vertical formwork, Harrison," CIRIA reports, 1977.
- [6] C.I.B, "Manual of technology 'Formwork,'" CIB Work. Comm. W67, 1985.
- [7] BS 8110-2, "Structural use of concrete, Part 2: Code of practice for special circumstances," Br. Stand. Des. Constr. Reinf. Prestress. Concr. Struct., 1985.
- [8] DIN 1045-2:2008-08: Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 2: Concrete - Specification, properties, production and conformity - Application rules for DIN EN 206-1

- [9] UNE-EN 1992-1-2, “Eurocódigo 2: Proyectos de estructuras de hormigón, Parte 1-2: Reglas generales, Proyecto de estructuras sometidas al fuego,” 2011.
- [10] ACI 347, “Guide to Formwork for Concrete,” Am. Concr. Inst., 2004.
- [11] F. Casinello, “Construcción hormigonera,” Inst. J. Herrera, 1974.
- [12] C.E.B, “Manuel de technologie coffrage Bulletin,” Contrib. à la 19ème Sess. plénière du CEB, Grenade, 1976.
- [13] CEB-FIP, “CEB FIP Codigo Modelo - Design code,” Com. euro Int. du Bet., 1990.
- [14] EHE-08, “Normativa española para el cálculo de hormigón armado” 2008.
- [15] Hurst, “Formwork construction,” 1983.
- [16] A. Paez, “El coeficiente de seguridad,” Rev. obras públicas España, 1986.
- [17] J. Montoya, P. Meseguer, and M. Cabré, “Hormigón armado,” Jimenez Montoya, 1991.
- [18] DIN 1045-2, “Clases de exposicion.” 2008.
- [19] T. A. Harrison, “Striking - Mechanical damage,” 1975.
- [20] R. Nurse, “Stream Curing of Concrete,” Mag. Concr. Res., vol. 1, no. 2, pp. 79–88, 1949.
- [21] Saul, “Principales Underlyng the steam curing of concrete at Atmospheric pressure,” Mag. Concr. Res., vol. 2, no. 6, pp. 127–140, 1951.
- [22] ASTM C1074, “Practice for Estimating Concrete Strenght by the Maturity Method,” ASTM, vol. 04, 1998.
- [23] A. Brooks, A. Schindler, M. Asce, and R. W. Barnes, “Maturity Method evaluated for Various Cementitious Materials,” J. Mater. Civ. Eng., vol. 19, no. 12, pp. 1017–1025, 2008.
- [24] N. Carino, H. Lew, and C. Volz, “Early Age Temperature Effects on Concrete strenght prediction by Matutity Method,” J. Am. Concr. Inst., vol. 2, 1991.
- [25] N. Carino, H. Lew, and C. Volz, “Early age temperature effects on concrete strenght prediction by matiruty method,” J. Am. Concr. Inst., vol. 80, no. 2, 1983.
- [26] J. R. & M. G. Richardosn, “Early age striking of formwork to GGBS concretes: a proposed decision making tool,” pp. 1–8, 2008.
- [27] N. Rudeli, A. Santilli, and F. Arrambide, “Striking of vertical concrete elements: An analysis using the Maturity Method,” Eng. Estructures, 2013.
- [28] C. Masana, “Formwork Removal Specification: ICH proposal for vertical reinforced concrete elements,” Concr. Int., no. June, pp. 38–40, 2008.
- [29] C. Clear, “Formwork striking times for ground granulated blastfurnace slag concrete: Test and site results,” Struct. Build. board, Struct. panel Pap. 10517, 1994.
- [30] R. Calavera and J. Fernandez, “Criterios para el descimbrado de estructuras de hormigón,” Cuad. INTEMAC, vol. 3, 1991.