

EL HORMIGONADO DE ESTRUCTURAS ASISTIDO POR COMPUTADORA: UN RETO TECNOLÓGICO VIGENTE

Shouddy Tárano León¹; Juan José Howland Alvear².

RESUMEN

Las actividades de la tecnología del concreto son complejas debido a su interconexión y naturaleza multivariada y multicausal. Esta situación hace de sus procesos algo potencial para estudios e investigaciones aplicadas para entender y controlar de forma óptima los recursos y así lograr resultados óptimos. Parte de los esfuerzos para hacer de las labores de hormigonado, un proceso coherente y sistemático es la incorporación de las ciencias de la computación en el sector. Este trabajo realiza un acercamiento a intentos previos realizados en etapas anteriores tanto en el país como en el plano internacional, donde se ha logrado incorporar la computación en diferentes etapas del proceso de hormigonado. Las condiciones tecnológicas actualmente y el desarrollo de métodos computacionales y algoritmos que permitan asistir en procesos tecnológicos varios, así como técnicas de optimización de las matemáticas aplicadas, dan al traste con la creación de un escenario favorable para desarrollar esfuerzos que quedaron en el pasado. Este trabajo introduce el término de Organización del Hormigonado Asistida por Computadora y enuncia las principales características y escenarios que permiten argumentar este término.

Palabras claves: Computación aplicada a la construcción, tecnologías de hormigonado, sistemas basados en reglas, procesos tecnológicos, antecedentes de la computación al hormigonado.

ABSTRACT

Activities of Concreting Technology are complex due to their interconnection and multivariate and multi-causal nature. This situation turns their processes into a potential source for studies and applied researches to understand and optimally control the resources and achieve optimal results. Part of efforts in order to make the concreting activity a coherent and systematic process is to incorporate the computer science in the field.

This paper provides an effort to previous attempts in past stages both in the country and internationally, where computers have been incorporated into different stages of the concreting process. Current technological conditions and the development of computational methods and algorithms that allow assisting in several technological processes, as well as optimization techniques of applied mathematics, inhibit the creation of a favorable scenario to continue with the efforts that remained in the past. This paper introduces the term “Computer Aided Organization of Concreting” and states the key features and scenarios that can argue this term.

Keywords: Computing applied to construction, concreting technologies, rule-based systems, technological processes, background of computing in concreting.

RESUMO

As atividades da Tecnologia do Concreto são complexas devido a sua interconexão e natureza multivariada e multicausal. Esta situação faz de seus processos algo potencial para estudos e investigações aplicadas para entender e controlar de forma ótima os recursos e assim conseguir resultados ótimos. Parte dos esforços para fazer dos trabalhos de concretagens um processo coherente e sistemático, é a incorporação das ciências da computação no setor.

Este trabalho realiza uma aproximação para tentativas prévias realizadas em etapas anteriores, tanto no país como no plano internacional, onde se há conseguido incorporar a computação em diferentes etapas do processo de concretagem.

¹ Ingeniero informático; especialista principal de la Unidad Empresarial de Informática. Grupo: Aplicaciones 2, Grupo de Desarrollo sobre plataformas libres de código abierto, empresa de informática y automatización para la construcción; empresa de proyectos para Industrias Varias EPROYIV.

² Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador Titular y Profesor Titular Adjunto del ISPJAE; Especialista Principal para la Dirección de la Ciencia y la Técnica del MICONS.

As condições tecnológicas atualmente e o desenvolvimento de métodos computacionais e algoritmos que permitam assistir em vários processos tecnológicos, assim como técnicas de otimização das matemáticas aplicadas, acabam com a criação de um cenário favorável para desenvolver esforços que ficaram no passado. Este trabalho introduz o término da Organização da Concretagem Assistida por Computador e enuncia as principais características e cenários que permitem argumentar este término.

Palavras chaves: Computação aplicada à construção, tecnologias de concretagem, sistemas baseados em regras, processos tecnológicos, antecedentes da computação à concretagem.

INTRODUCCIÓN

El concreto u hormigón constituye una solución constructiva fundamental para la creación de estructuras. Aún en nuestro siglo, con el avance de la ciencia y la técnica, sigue siendo este un material que ostenta dos cualidades importantes versatilidad y economía. Los trabajos investigativos tanto nacionales como internacionales han evidenciado las reservas que existen en el campo de la tecnología de hormigonado a partir del perfeccionamiento de la misma alcanzando ahorros de 1.2 hasta 1.4 veces a partir de la misma cantidad de cemento y acero con que se cuente. Según aseveraciones de los expertos tanto en Cuba, como a nivel internacional, existen aún deficiencias en la organización del proceso de hormigonado de las estructuras debido a que los actores involucrados en el proceso no tienen en cuenta la naturaleza sistémica del mismo y las influencias que tienen las actividades de:

- Preparación de la mezcla fresca.
- Transporte a distancia de la mezcla preparada.
- Vertido.

Compactación: La organización sistémica del hormigonado requiere la concatenación e interconexión de las actividades anteriores, así como de la presencia de equipos y recursos en general, que provean un rendimiento de entrega y procesamiento de la mezcla óptimos^{2,3}. El objetivo de un comportamiento sistémico en estas tareas, es garantizar un Flujo de Hormigón (Fh) constante (m^3/h) que permita concebir una estructura final de naturaleza monolítica, o sea sin la presencia de juntas de construcción o juntas frías. Dicho fenómeno puede afectar o no el trabajo estructural del elemento; pero definitivamente incidirá negativamente en la vida útil del proyecto en tanto constituye un paso directo para los agentes agresivos hasta el interior del refuerzo de la estructura³. La capacidad de prevenir la formación de las juntas de hormigonado permite tomar medidas para que éstas no se formen en lugares donde se afecte la estructura del elemento. Una aparición imprevista puede reducir los costos de vida útil a menos de 20 años siendo 50 años inferior para una edificación^{3,4}.

Existen varios tipos de juntas de hormigonado, dentro de ellas las juntas de trabajo; las cuales se originan por interrupciones que hay que efectuar en el hormigonado o por términos de la jornada de trabajo ante la carencia de turnos consecutivos⁵. Estos tipos de interrupciones se consideran imprescindibles a tenerse en cuenta y ya sea por razones tecnológicas, o por falta de recursos; el poder minimizar su aparición en la estructura o predecir su aparición planificadamente es una oportunidad que aportaría beneficios tangibles en la ejecución del proceso. Estudios realizados en la década de los años 80 del pasado siglo por el entonces candidato en Ciencias Técnicas, Alexander Sergueevich Batalov de la antigua URSS, confieren que los trabajos de ejecución de estructuras de hormigón monolítico y hormigón armado mostraban una influencia negativa en el crecimiento de la productividad del trabajo en las obras básicas debido a deficiencias en la calidad de la construcción. Otro aspecto que comenzaba a evidenciarse era la escasez aguda del recurso humano en contraposición con la necesidad de calificación de este para la mecanización compleja de los trabajos⁶. Howland Albear en 1990¹⁰ destacó la paradoja entre el avance en las aplicaciones para el diseño de proyectos, el cálculo de estructuras y la introducción de nuevos materiales; en contraposición con el desarrollo de las tecnologías de hormigonado y la calidad del hormigón en la estructura. En la actualidad esta situación persiste y las soluciones del hormigonado se han centrado más en la aparición de nuevos materiales y aditivos; que de sistemas de análisis que asistan al hombre en el proceso de la selección de tecnologías más óptimas ante la presencia de recursos cada vez más limitados y necesidades constructivas siempre crecientes. Hay que destacar que los nuevos aditivos superplastificantes de última generación permiten disponer de mucho más tiempo de espera para efectuar el hormigonado^{7,8}. Sin embargo lo que determina en la calidad del proceso es su organización. El presente artículo tiene como objetivo describir los diferentes intentos de incorporación de las ciencias computacionales a los trabajos de hormigonado.

DESARROLLO

La posibilidad de tipificar el proceso de hormigonado constituyó un paso importante en el desarrollo de la organización del mismo. En la década de los 80 del pasado siglo se realizó un estudio que permitió un acercamiento a la automatización por medio de diferentes métodos, entre estos aparece la primera definición de un algoritmo formalizado y un pseudocódigo para la aplicación de las técnicas de computación en la selección de los esquemas óptimos para la preparación, entrega y colocación de las mezclas de hormigón⁶. Este método fue poco aceptado debido a las limitaciones tecnológicas que ofrecía el uso de la computación y fue desplazado por otro semi-automático que planteaba la creación de un artefacto electro-mecánico mucho más óptimo de emplear por sus dimensiones y operabilidad que aquellas computadoras tipo ES-1033 de los centros de investigación de los años 80 en la antigua URSS. La pauta sentada por este antecedente fue la definición de los parámetros que intervienen en las diferentes actividades del proceso de hormigonado de estructuras, donde se describieron 118 esquemas tecnológicos, una lista resumen de las posibilidades técnicas de cada esquema; así como un acercamiento a la identificación de diferentes invariantes y leyes a tener en cuenta para la introducción de la computación en el campo de la organización del proceso de hormigonado. En la primera mitad de los años 90 en Cuba, es retomado este estudio por el doctor en Ciencias, ing. J. J. Howland donde se hizo un análisis tomando como referencia los estudios realizados por expertos del país; así como investigaciones previas incluyendo la realizada por A. S. Batalov ya mencionada. De estos estudios partieron las siguientes investigaciones:

1. Desarrollo de un sistema que calculara el flujo mínimo de concreto para un elemento estructural dado⁹.
2. Desarrollo de un sistema que permitiera escoger la variante tecnológica óptima para realizar el hormigonado de un elemento a partir de reglas conocidas¹⁰.

El primer proyecto citado determinaba el flujo del concreto requerido para efectuar el hormigonado de una estructura dada dada o parte de esta sin que se formaran juntas frías por fraguado de la mezcla de hormigón. Dicha aplicación estaba implementada en Turbo Pascal 5.0 para computadoras IBM PC compatibles con sistema operativo MS-DOS 3.3 y procesadores 80286. Entre las principales características de esta aplicación estaba la de tener comprendidos los siguientes elementos:

- Losas o balsas.
- Muros.
- Losas de piso y muro.
- Vigas.
- Entramados de viga y losa.
- Columnas.
- Cimientos aislados.

Otra de las posibilidades que brindaba esta aplicación era la de incluir los métodos de preparación de la mezcla de hormigón a pie de obra, en hormigoneras estacionarias o en plantas preparadoras de hormigón y el transporte de esta en camiones hormigoneras o camiones de volteo. A partir de los datos introducidos para el procesamiento de este software, el sistema era capaz de ofrecer al usuario un reporte de los diferentes parámetros calculados así como de los requerimientos iniciales dispuestos por el usuario para acometer las labores de hormigonado del elemento. La segunda línea de investigación abierta lo constituyó la necesidad de modular el criterio de los expertos en las labores del hormigonado de estructuras. Esto vino aparejado con la evolución de los medios de cómputo que, junto al desarrollo de modelos de inteligencia artificial que iban apareciendo; permitió el comienzo del análisis integral de todas las variantes posibles y la flexibilidad de incluir nuevas reglas con el fin de crear una base de conocimientos que permitiría el nacimiento de un sistema experto^{11,12} para la solución de la variante tecnológica más adecuada ante las condiciones de recursos limitados para ejecutar tareas constructivas cada vez más complejas. Este sistema contaba de diferentes estructuras analíticas complejas:

Datos de entrada: Entrada de la información requerida para el procesamiento del sistema. En esta estructura se adquiere la información asociada a la mezcla de hormigón, distancias de entrega de la mezcla al elemento, ubicación del elemento, flujo de hormigón mínimo exigido, etc.

Hechos: Son construidos a partir de las necesidades del usuario (los datos de partida y las entradas)

Casos: Restricciones internas asociadas a las diferentes variantes tecnológicas, exigencias de la mezcla y otras limitaciones que permiten acotar el universo de variantes

Solución: Es la exploración consecuente de los casos que más se ajustan a la meta esperada. Es el resultado de la interacción lógica entre los Hechos y los Casos. De esta Solución pueden salir más de una variante; la idea es permitir

al actor humano la decisión final ya sea por consideraciones no registradas en el proceso de solución artificial o por condicionantes objetivas o subjetivas de otro orden.

Esta aplicación se diseñó para un entorno de ejecución soportado por MS-DOS versión 3.3 en una IBM PC compatible con procesador 80286 y 640 KB de RAM. Como aporte colateral importante, se esperaba contar con una base de conocimientos que pudiese tener utilidad práctica tanto en las labores de producción, como en el ámbito académico, permitiendo la creación de escenarios simulados donde los estudiantes podrían aplicar los conocimientos adquiridos en el aula. Teniendo en cuenta que el recurso humano capacitado para asistir en estas labores es limitado tanto en número como en su disponibilidad temporal se intentó aglutinar todo el conocimiento de los mismos en dicha estructura de leyes que además podrían ser enriquecidas y modificadas con la evolución de la construcción ya sea por transiciones o saltos tecnológicos en los equipos, como en cambios en nuevas formas de enfrentar el hormigonado de estructuras. Para que se tenga una idea del aporte que constituiría una herramienta computacional que opere a modo de sistema experto se comparan ciertos aspectos en contraposición con un experto humano en la Tabla 1. Esta aplicación intentó asistir al proceso de toma de decisiones en las tareas de hormigonado constituyendo un paso de avance en la aplicación de las ciencias de la computación a dichas labores. Es necesario destacar que ambos intentos dieron a la luz con resultados prácticos no generalizados fuera del área de la investigación, pero condicionantes descritas en los fenómenos de la Crisis del Software¹², permitieron que tales intentos desaparecieran en el tiempo cayendo en el olvido. Dados los argumentos hasta aquí planteados y no encontrados reportes públicos previos, este artículo intentará introducir el término Organización del Hormigonado Asistida por Computadora por primera vez. Se ha podido apreciar que una de las principales agravantes de la implementación computacional de los procesos de hormigonado; ha sido la limitación tecnológica, sumado a que el proceso constructivo; todavía asume acciones de tipo artesanal y de otras de la experiencia humana empírica individual.

Table 1. Tabla comparativa de algunos aspectos entre expertos humanos y sistemas de conocimiento artificiales.

Expertos humanos	Sistema artificial basado en reglas
Un experto muere. Depende de la actividad mental y física para solucionar problemas. Constantemente debe practicar para mantener la eficiencia. Cualquier período significativo de desuso puede afectar seriamente el desarrollo de la mente.	Los sistemas poseen mecanismos de recuperación.
Transferir conocimiento de un humano a otro es un proceso laborioso, lento y costoso, llamado educación. Documentar la experiencia humana es extremadamente difícil y consume tiempo.	La transferencia de conocimiento entre sistemas es un proceso trivial de copiar unos programas y/o archivos de datos. Documentar un sistema es relativamente fácil. Se realiza un mapeo entre la experiencia representada en el sistema y el lenguaje natural de descripción de dicha representación.
Un experto puede tener diferentes decisiones en idénticas situaciones por factores psíquicos, biológicos y físicos.	Producen resultados consistentes y reproducibles, no son afectados por el medio.
Un experto es muy escaso. Demanda un gran salario.	Sólo son costosos en su desarrollo pero baratos para operar.

Actualmente se ha salvado en buena parte, la brecha entre tecnológica y conocimiento pudiendo existir soluciones de Inteligencia Artificial basadas en reglas¹³, Modelación Asistida por Computadora¹⁴ y otros universos cognoscitivos, donde la mente humana va de la mano con nuevas formas de hacer, de las ciencias de la computación. Esto constituye una herramienta vital para la automatización de los procesos tecnológicos en diferentes ramas y especialidades. Se puede, a partir de futuras investigaciones de los autores de este trabajo; hablar de la Organización del Hormigonado Asistida por Computadora como término que define lo siguiente: La Organización del Hormigonado Asistida por Computadora (OHAC), lo constituye toda la secuencia lógica necesaria para realizar los trabajos de hormigonado de una estructura dada, a partir de un asistente o experto oficial que comprenda:

- La definición de la estructura.
- La correcta utilización de los recursos para desarrollar variantes tecnológicas posibles y económicamente factibles, así como el resaltado de la variante óptima de entre las detectadas.
- La mejor variante de vertido del hormigón teniendo en cuenta la máxima de lograr un monolito estructural, o en todo caso; anticipar la ocurrencia de juntas de hormigonado para posteriores acciones de los decisores.

Todos estos aspectos permiten anticipar cómo lograr un proceso de hormigonado coherente que aborde una mejor organización del trabajo, importantes ahorros de recursos materiales y humanos; así como de lograr que el conocimiento de los expertos perdure de forma útil, práctica y objetiva. Otra posibilidad es la de permitir operacionalizar sistemáticamente el saber de los expertos humanos en una base de conocimientos que permita, desde la experiencia actual; realizar un mejor análisis de soluciones futuras.

CONCLUSIONES

Se ha hecho un bosquejo de los diferentes intentos de incorporación de las ciencias computacionales a los trabajos de hormigonado. Es importante resaltar que hasta hoy este tema está casi inexplorado debido a que la construcción tiene mucho del conocimiento empírico de los expertos y del trabajo artesanal. Con el desarrollo de los medios de cómputo, algoritmos de análisis y la vinculación de la informática y la cibernética en los procesos tecnológicos, hoy es posible comenzar a sentar cátedra en las aplicaciones de las tecnologías de la informática y las comunicaciones a los problemas actuales del sector constructivo. A través de las investigaciones a realizar sobre la Organización del Hormigonado Asistida por Computadora, se propone un acercamiento más objetivo al tema.

REFERENCIAS

1. Howland J. J., *Metodología para la utilización de las cartas tecnológicas para el hormigonado "in situ" de los tipos de obras fundamentales*, Editorial del Centro de Información de la Construcción MICONS, La Habana, 1990.
2. A. K. Tretiakov, *Trabajos de hormigón*, Moscú, Editorial Escuela Superior, Segunda Edición ampliada y corregida, 1977.
3. Entrevista realizada al doctor en Ciencias, ingeniero Juan José Howland Albear, experto de la Dirección de Desarrollo Tecnológico, MICONS 12/12/2008.
4. Portero, Ada, "Conservación y mantenimiento de las edificaciones de vivienda, Arquitectura y Urbanismo", vol. XXIII, No. 1/2002, disponible en <http://revistas.mes.edu.cu:9900/EDUNIV/03-Revistas-Cientificas/Arquitectura-y-Urbanismo/2002/1/10502106.pdf>, 05/12/2008.
5. Howland J. J., *Tecnología del Hormigonado*, Editorial de la Construcción, ISBN 959-247-001-4, La Habana, pp.67-72, 1995.
6. Batalov, A. S., "Investigación y elaboración de los métodos de selección automatizada de los esquemas tecnológicos óptimos de preparación, entrega y colocación de las mezclas de hormigón", Tesis de doctorado en Ciencias, Instituto de la Construcción de Gorki, 1980.
7. Granizo, Luz, "Tecnología de aditivos para hormigón", Centro Tecnológico España, artículo cedido por: Sika, S.A., disponible en http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&task=view&id=883&Itemid=36, 09/01/2009.
8. Borralleras, Pere, "Los aditivos de última generación en el hormigón convencional", información facilitada por Degusa, disponible en http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&task=view&id=882&Itemid=36, 09/01/2009.
9. Howland, J. J.; Pino, H., *Programa hormigón 1.1; Manual de usuario*, Centro de Diseño de la Construcción, CEDICO, 1991.

10. Howland J. J., “Perfeccionamiento de las tecnologías de hormigonado in situ en Cuba”, resumen de la Tesis para obtener grado de doctor en Ciencias Técnicas, La Habana, 1994.
11. Castillo E., “Sistemas expertos y modelos de redes probabilísticas, Universidad de Cantabria”, 04/05/2004.
12. Dijkstra E., “The humble programmer”, en *Commun. ACM* 15, 10: 859–866, 1972.
13. Freeman-Hargis J., “Methods of rule-based systems, artificial intelligence depot”, copyright 2001-2007, disponible en: : <http://ai-depot.com>, 05/11/2008.
14. Mortenson, M E., *Geometric Modeling*, John Wiley&Sons, 1985.